

**CALCULANDO COM GALILEU: os desafios da ciência nova**

Maria Célia M. Moraes  
Paulo Rômulo Frota

Este artigo descreve alguns dos principais aspectos da revolução científica do século XVI e o papel nela desempenhado por Galileu. Indica os acontecimentos históricos que marcaram o período, com ênfase nas circunstâncias que ensejaram o surgimento de uma nova atitude de homens e mulheres diante da natureza, que passa a ser representada como alteridade frente ao humano, uma alteridade representada como objeto, como coisa cognoscível. O texto apresenta, ainda, as teorizações oferecidas por Koyré com vistas a caracterizar a nova ciência. Finalmente, convida os leitores e leitoras a calcularem com Galileu, apresentando exemplos inspirados nas descobertas do cientista italiano.

**Palavras-chave:** Ciência; Método; Galileu; Conhecimento; Cosmos.

**1. INTRODUÇÃO**

Vivemos uma época fortemente marcada pela ciência e pela técnica. Os jornais, as revistas, a televisão, com inusitada frequência veiculam notícias sobre as grandes conquistas da pesquisa científica e tecnológica, relatam suas extraordinárias descobertas e invenções, suas promessas de remédios miraculosos, de fábricas robotizadas para as quais não há mais serventia de operários, de conquistas inimagináveis possibilitadas pelas clonagens de animais ou pela inseminação artificial, sem falar do universo sem fim das vias ultra rápidas de informação.

Os meios de comunicação mostram, também, os cientistas e pesquisadores em seus laboratórios sofisticados, os seus instrumentos cada vez mais precisos e revelam os vultosos investimentos que Estados e empresas revertem para as pesquisas, pelo menos nos países centrais do desenvolvimento capitalista. Somos informados - e este aspecto toca a nós brasileiros muito de perto - que tais pesquisas são fundamentais para a riqueza e o bem-estar social e que os países que nelas não investirem estarão condenando ao atraso e à pobreza a maioria de seus habitantes.

Essas notícias fazem parte de nosso cotidiano e nos habituamos a conviver com essa "super-ciência" que tanto promete, que parece ser capaz de tudo interpretar e conhecer. Sem perceber, assim quase naturalmente, passamos a considerar normais e necessárias seus sucessos e, mais ainda, a nela depositar uma confiança ilimitada e a esperança de, algum dia, vermos solucionados os problemas da humanidade. Tanto é assim, que já nos habituamos com frases do tipo: "se foi provado cientificamente, então não se discute", ou então, "é apenas uma questão de tempo e os cientistas descobrirão a cura do câncer, da AIDS, de tantas doenças que atormentam a vida de mulheres e homens". É como se o desconhecido fosse, tão somente, provisório e a ciência logo desse conta de desvendá-lo e colocá-lo sob seu controle.

A crença e a esperança tornaram-se tão fortes que esquecemos que a solução para o dengue, a malária, o cólera e outras doenças "da pobreza", dramaticamente presentes em nosso país e em seus vizinhos latino-americanos, depende mais da superação da miséria, da falta de higiene, da situação precária de saneamento e da falta de informação das populações carentes, do que propriamente de mais pesquisas ou de laboratórios mais sofisticados. Isto é, uma vez alienada das necessidades da vida social como um todo, pesquisas e laboratórios, por si sós, nada podem fazer para resolver a pobreza.

Mas, afinal, o que é isso a que chamamos de ciência e que está tão presente em nossas vidas? O que a caracteriza? Teria existido sempre? Ou será que tem um tempo de nascimento, será que tem uma história? São essas as questões que discutiremos neste artigo.

**2. AS CIÊNCIAS TÊM UMA HISTÓRIA**

Desde os primórdios de sua existência, homens e mulheres sempre buscaram conhecer, explicar, decifrar os segredos do mundo em que vivem, sobretudo daquilo a que comumente denominamos "natureza". Mas, o conhecimento científico, isto é, o modo científico de conhecer e explicar a realidade, tal como o entendemos hoje - objetivo, preciso, experimental - tem história recente. Conhecer essa história talvez contribua para compreender o porquê as ciências assumiram importância tão grande em nossos dias. Como se sabe, a história de um acontecimento social, qualquer que seja, revela as determinações de sua origem e de seu desenvolvimento, ou seja, as relações econômicas, políticas e culturais que, em última análise, constituem-se no campo de suas possibilidades e limites.

Vamos então lembrar um pouco dessa história e voltar nosso olhar para um tempo, um acontecimento e um personagem, dos mais interessantes que a história humana já conheceu. O tempo é o que testemunhou as várias rupturas com a tradição medieval e o início da chamada "era moderna"; o acontecimento é o da revolução científica do século XVII, o do nascimento da ciência clássica; o personagem, um dos principais desse acontecimento, é o italiano Galileu Galilei.

Entretanto, se quisermos apreender adequadamente a dimensão desse tempo, o significado do acontecimento e a contribuição de nosso personagem, não basta descrever o que os homens e mulheres pensavam, como agiam e se comportavam naquele momento histórico preciso. Será necessário, ainda, acompanhar as profundas transformações sociais ocorridas a partir do século XIV, na Itália, acentuadas ao longo do Renascimento e que desabrocharam com vigor no século XVII. Transformações tão profundas que repercutiram em todas as dimensões da realidade social, inclusive sobre a forma pela qual os homens e as mulheres conheciam e explicavam o mundo. Em outras palavras, o modo específico de conhecer que vai caracterizar a ciência clássica moderna, é fruto de um determinado momento histórico e articula-se a um lento e secular processo de mudanças e transformações.

De fato, o período compreendido pelos séculos XVI e XVII, que os historiadores da ciência denominam de "período da revolução científica" tem suas raízes "nessa grande época de ruptura de visão e organização de mundo expressa no Renascimento, que se propaga desde o início do século XIV na Itália, com a literatura (Dante, Petrarca, Boccaccio), até o século XVI, nas artes plásticas, na música, nas ciências, na tecnologia, na cosmologia, na filosofia" (Luz, 1988: p.16). Há consenso entre os historiadores de que esse período caracterizou-se por grande efervescência intelectual e artística, pelo desejo de demolir tudo o que viera do passado, pela redescoberta do saber greco-romano liberto, enfim, da fechada interpretação do cristianismo medieval. Embora toda cronologia seja sempre enganadora, vamos correr o risco de traçar os contornos dessa importante época histórica.

Nesse período foram dados os primeiros passos para a organização de uma sociedade pós-feudal, com o desenvolvimento do comércio e depois da manufatura, com os avanços na navegação, os descobrimentos e a colonização das terras descobertas, fatores que indicavam os sinais de uma era em que se forjavam as pré-condições para o advento das relações sociais capitalistas. Simultaneamente à afirmação econômica do capital mercantil da época, configurou-se a ascensão de uma nova classe social, a burguesia comerciante e bancária, que pouco mais tarde se tornaria manufatureira. A nova classe trouxe consigo suas ideologias e costumes, como a valorização dos bens materiais, do dinheiro, da busca do lucro, do trabalho livre, da confiança na capacidade da razão humana para conhecer e transformar a realidade; ideologias e costumes em franco conflito com os valores medievais, como os do patrimônio da terra, da tradição do sangue, do trabalho servil, do saber contemplativo.

A ideologia burguesa promovia engenheiros e cultivava artistas, o homo faber que aperfeiçoava as técnicas de navegação, de exploração das minas, de artilharia, que inventou a imprensa. Luz assinala que, ocorria então, uma verdadeira "explosão de talentos", isto é, um grupo de intelectuais laicos profundamente diversificado e que incluía artistas plásticos, literatos, cientistas, inventores, filósofos humanistas que "intérpretes pessoais privilegiados das forças de mudança em ascensão na sociedade, criavam novas formas de linguagem e novas teorias nas artes (gravura, pintura, arquitetura, desenho, poesia, conto, teatro, música), nas ciências (astronomia, matemática, física, anatomia, fisiologia), na filosofia (cosmologia, metodologia da ciência, filosofia social), na moral e na política" (Luz, 1988: p.17, grifos no original). A respeito dessas últimas, basta lembrar as obras de Spinoza e Maquiavel.

O ambiente político também sofria mudanças. Desde o século XIV e em oposição à teocracia da Igreja católica, tomavam forma os Estados territoriais laicos modernos. Nova figura política de organização social, expandiu e aprofundou seu domínio sobre um determinado espaço territorial, no qual tendiam a se congregar as línguas nacionais que lentamente substituiriam o latim, língua culta dominante no período medieval; concentrando esse poder estabeleceu-se, pouco a pouco, o monarca secular como fundamento e cume da ordem social. Monarquia secular, por certo, mas absoluta e de direito divino.

Os movimentos separatistas da Reforma Protestante, por outro lado, rompendo a referência única da idéia de cristandade, sua fé, dogmas e cerimônias - a rigor ilusórias, pois que jamais existiram de fato - e, sobretudo, questionando a autoridade papal e episcopal, centrais à Igreja medieval, propiciaram o aparecimento de uma infinidade de tendências, seitas e interpretações da Sagrada Escritura. Talvez um dos resultados culturais mais significativos desse processo tenha sido, como indica Chauí, "o desenvolvimento de escolas protestantes para alfabetização dos fiéis", agora livres para ler e interpretar a Bíblia e "escrever sobre suas próprias experiências religiosas, divulgando a nova e verdadeira fé" (Chauí, 1984: p. 68).

A Contra-Reforma, por sua vez, definiu um novo quadro para a vida cultural da época. Chauí lembra que, para fazer frente à escolaridade protestante, o movimento da Contra-Reforma, liderado

tembra que, para além da essência protestante, o movimento da Contra-Reforma, nascido pelos jesuítas, enfatizou a ação pedagógico-esducativa da Igreja, ao mesmo tempo em que fortaleceu a tendência dos novos Estados à monarquia absolutade direito divino. Vale registrar, ainda, que foi no quadro da Contra-Reforma que a Inquisição tomou novo impulso e se "durante a Idade Média, os alvos privilegiados do inquisidor eram as feiticeiras e os magos, além das heterodoxias tidas como heresias, agora o alvo privilegiado do Santo Ofício serão os sábios: Giordano Bruno é queimado como herege, Galileu é interrogado e censurado pelo Santo Ofício, as obras dos filósofos e cientistas católicos passam primeiro pelo Santo Ofício antes de receberem o direito à publicação e as obras dos pensadores protestantes são sumariamente colocadas na lista das obras de leitura proibida (o Index)" (idem).

Nesse turbilhão de mudanças, homens e mulheres foram forçados, também, a buscar novos fundamentos para o conhecimento. O cristão medieval possuía um sólido ponto de apoio que definia se o que conhecia era ou não verdadeiro: as suas certezas originavam-se na fé e as Sagradas Escrituras deveriam se constituir no limite máximo de sua curiosidade. Nelas estavam contidas todas as verdades e não cabia à inteligência humana questioná-las. No máximo, poderiam ser explicitadas pelos doutores da igreja. Se deus criou o mundo e todas as coisas nele existentes, não caberia ao ser humano - sua "criatura" - questionar a forma como as coisas estavam ordenadas, mas apenas interpretá-las. As possibilidades do conhecimento do cristão medieval, portanto, tinham como limite e fundamento a fé e a "ciência da fé", a teologia. Como dizia São Tomás, "tudo o que nas outras ciências repugnar à verdade da teologia condena-se, de vez, como falso". O "homem da ciência" medieval, dessa forma, seria o leitor das leis que presidem a natureza, leis que jamais poderiam estar em contradição com o livro da fé, a Bíblia.

A partir do Renascimento, no entanto, rompeu-se esse quadro de certezas. Ocorreu uma cisão entre "ordem divina" e "ordem humana", por um lado e, entre "ordem humana" e "ordem natural", por outro. Isto é, separaram-se deus, seres humanos e natureza. A "ordem natural" abriu-se para o agir racional humano que, para ela se volta, buscando desvendá-la, desbravá-la, explorá-la. Em outras palavras, a natureza passou a ser representada como alteridade frente ao humano, uma alteridade representada como objeto, como coisa cognoscível. O caráter objetivo e independente da natureza face ao mundo humano será a "condição epistemológica e ontológica para que o homem possa conhecê-la e moldá-la, para que coloque sobre o reino da natureza o selo de sua ordem. A ordem da Razão." ((Luz, 1988: p.18 e 21).

Homens e mulheres, então, buscam e encontram em si próprios o novo fundamento para o conhecimento e para a liberdade. Agora devem decidir por si próprios, sem recorrer a nada nem a ninguém, o que pode ser conhecido, o que é o conhecimento e o que é certeza. O ser humano torna-se o sujeito do conhecimento, o novo "lugar" da verdade, condição da própria ciência. Foi tarefa de Descartes elaborar o fundamento metafísico do novo modo de conhecer. O cogito é o sujeito - fundamento - de toda a certeza, uma vez que em si mesmo e por si mesmo fundamenta todas as possibilidades de qualquer fenômeno.

O que existe não pertence mais à ordem da criação divina - como pensavam os medievais -, mas o que se coloca em oposição ao sujeito, o que se coloca como objeto. Esse é o aspecto fundamental da forma moderna de conhecer o mundo: a relação de oposição, a exterioridade radical entre sujeito e objeto. Sujeito e objeto serão, a partir desse momento, tomados como duas entidades diferentes por natureza e intrinsecamente separadas. Oposto ao sujeito, representado por ele, o que existe no mundo só tem sentido nessa relação.

Como se vê, estavam postas as condições para a formulação da nova ciência. E, foi nessa ambiência que nasceu Galileu Galilei, nas proximidades de Pizza, na Itália, em 1564.

### **3. A REVOLUÇÃO CIENTÍFICA MODERNA**

Um dos mais importantes estudiosos da história das ciências, Alexandre Koyré, considera que a revolução científica do século XVI teria sido, talvez, uma "das mais profundas, senão a mais profunda revolução do pensamento humano desde a descoberta do Cosmos pelo pensamento grego: uma revolução que implica uma 'mutação' intelectual radical, da qual a ciência física moderna (...) foi ao mesmo tempo a expressão e o fruto" (Koyré, 1966: p.12).

Nosso personagem, Galileu Galilei, está profundamente ligado à essa revolução. Vários outros nomes, porém, contribuíram para que ela se efetivasse: Bacon, Bruno, Copérnico, Campanella, Paracelso, Harvey, Kepler, Descartes, entre muitos outros. Alguns precederam Galileu, vários foram seus contemporâneos. Porém, se Galileu não foi o único a questionar as formas de conhecimento vigentes na época, sua contribuição para o nascimento da nova ciência é considerada das mais importantes, senão a mais importante entre todas. Isso porque, foi ele o primeiro a formular o método experimental, o primeiro a formular o problema crítico do conhecimento.

Embora a tradição científica e filosófica sustentada pela Igreja e ensinada nas universidades - o saber aristotélico incorporado à teologia católica - viesse sendo criticada desde os primórdios do

saber aristotélico incorporado a teologia católica - viesse sendo criticada desde os primórdios do Renascimento, o ambiente intelectual no qual se formou Galileu era ainda fortemente marcado por essa visão de mundo. Sua formação, entretanto, foi também marcada pelo aspecto inaugural de sua época que, pela primeira vez, permitia a plena articulação entre as experiências e a prática dos artesões e técnicos e as novas formulações teóricas e metodológicas que interrogavam a natureza.

Em seu esforço crítico, Galileu aprendeu a recusar tanto a tradição, quanto o encantamento da empiria: tinha plena consciência de que a elaboração de uma teoria exige que experiências e práticas, que relatos e observações dos empíricos e dos técnicos, sejam colocadas em um outro plano. Galileu reconhecia a infinita distância entre o saber obtido pela experiência imediata e o conhecimento científico, alcançável com base em critérios precisos de caráter teórico.

Vejamos os principais aspectos da revolução científica e o papel nela desempenhado por Galileu. Como vimos, esta revolução foi contemporânea de uma transformação completa na atitude de homens e mulheres diante da natureza. Tratava-se, agora, não mais de contemplá-la - para glória de deus e ascese do espírito humano -, mas de dominá-la, de intervir sobre ela. Segundo Koyré, entretanto, além da mudança da atitude humana frente a natureza, da contemplação à intervenção e domínio caracterizam a nova racionalidade científica: "a geometrização do espaço e a dissolução do Cosmos, isto é, o desaparecimento, no interior da racionalidade científica, de toda a consideração a partir do Cosmos e a substituição do espaço concreto da física pre-galileana pelo espaço abstrato da geometria euclidiana" (Koyré, 1966: p. 15). Vejamos esses dois aspectos e, ainda que de forma muito resumida, como interveio Galileu nesse contexto:

a) a destruição de uma idéia, a idéia de Cosmos: a nova ciência irá recusar a concepção herdada dos gregos de que o universo forma um conjunto esférico, fechado sobre si mesmo, internamente contido na esfera dos céus, a Terra imóvel em seu centro. Um universo ordenado e hierarquizado segundo graus de perfeição: o perfeito (o mundo dos céus, o mundo supra-lunar) e o imperfeito (o mundo da Terra, o mundo sub-lunar). Mundos irremediavelmente separados por serem realidades distintas e opostas: suas regras de organização se oporiam tão radicalmente como o que é perfeito, incorruptível e imutável se opõe ao que é imperfeito, corruptível e mutável.

Nesse universo finito e fechado, assinala Koyré, cada ser possuía uma natureza (uma "qualidade") que lhe é própria e que determinaria seu lugar nessa hierarquia. Assim, todos os seres, dos mais aos menos perfeitos, teriam o seu lugar próprio no universo, conforme sua natureza. De acordo com essa concepção, qualquer fenômeno natural obedeceria ao imperativo de manter ou restaurar a ordem superior do mundo: "um lugar para cada coisa, e cada coisa em seu lugar; a noção de 'lugar natural' traduz a exigência teórica da física aristotélica (Idem: p. 19, grifos no original).

Nesse contexto ordenado, o movimento dos seres terrestres, os da nossa experiência sensível, (os corpos pesados, compostos de terra ou água, e os corpos leves, compostos de fogo ou ar) era entendido como uma doença passageira, uma ruptura de equilíbrio que os retirava de seu lugar natural, de seu estado fisiológico, o repouso. Na dinâmica aristotélica, afirma Koyré, todo corpo possui a tendência a permanecer em seu lugar natural e a ele voltar, quando cessa o ato - violento - que o afastou de lá. Tal movimento, portanto, é forçosamente finito, e encontra seu fim no momento em que os seres retornam a seus lugares: os corpos pesados ao "baixo", os leves, ao "alto". Em outras palavras, se algo não estiver em seu lugar natural, tende a este lugar em virtude de uma necessidade que lhe é própria e que advém de sua natureza.

A física pré-galileana é, ademais, necessariamente qualitativa. O que importa conhecer é a natureza dos seres, uma vez que é tal natureza o fator determinante do seu comportamento. Dessa forma, a explicação para o movimento sub-lunar, o de um corpo pesado, uma pedra, por exemplo, era atribuída à sua natureza de corpo pesado que, por ser assim, buscava, pela "via mais curta e mais rápida", seu lugar natural, o baixo - o lugar determinado por sua natureza de corpo pesado. Do mesmo modo, o movimento de um corpo leve seria determinado por sua "procura" pelo alto.

Ao contrário, o movimento dos seres celestes seria o movimento próprio ao que é perfeito, incorruptível e imutável: o movimento circular uniforme, movimento perfeito, eterno, sem começo nem fim, sempre girando em torno de um ponto central fixo (a Terra, nesse caso) do qual não se afasta nem se aproxima. Também nesse caso, a explicação do movimento dos astros - circular uniforme - é encontrada em sua natureza, a natureza dos seres perfeitos.

As observações e comprovações de Galileu irão revelar que a concepção de um universo fechado e qualitativamente hierarquizado assentava-se sobre bases muito frágeis. A idéia de Cosmos - princípio de ordem que regeria o universo - será então substituída pela concepção de um universo aberto, indeterminado, onde desapareceria a oposição entre Céu e Terra, entre mundo supra e sublunar, agora unidos e governados pelas mesmas leis universais. Por outro lado, desaparecem as descrições qualitativas da física aristotélica-medieval. Para a nova ciência, por exemplo, o que se deve explicar não é o fato da queda, nem porque os corpos caem, mas mensurar os aspectos constitutivos do movimento: tempo, espaço, massa, resistência, velocidade.

b) a geometrização do espaço, ou a substituição do espaço concreto da física pré-galileana pelo espaço abstrato da física euclidiana (Idem: p. 15): o universo, afirmava Galileu, é como um livro aberto diante de nós. Se quisermos ler esse livro precisamos conhecer a língua no qual está escrito. Ora, continuava ele, esse livro "está escrito em linguagem matemática e outras figuras geométricas, sem as quais é humanamente impossível compreender uma só palavra; sem elas vagueia-se num labirinto escuro". Para os sábios da época essa afirmação era, no mínimo, muito ousada! Uma ciência abstrata como a matemática nada teria a acrescentar às descrições qualitativas próprias à física vigente até então. Para eles, a física não necessitava de nenhuma outra base além da experiência. Para formularem suas teorias do movimento, bastava enumerar suas principais categorias e descrever seus aspectos mais gerais. Pensava-se que seria impossível estabelecer uma teoria matemática do movimento, uma vez que não existe movimento nos números.

A nova ciência, ao contrário, utiliza a matemática como instrumento de estudo da física. Galileu concebe um método no qual a matemática terá um papel predominante, um método que substitui o conhecimento do mundo através da experiência sensível pelo do universo racional da precisão e mensuração. Galileu é quem formula o movimento dos corpos em linguagem matemática. Em outras palavras, Galileu não se limita à observação dos fenômenos, mas busca suas vinculações com as "claras demonstrações". Ele passa dos fatos à idéia de sua conexão racional e desta, volta aos fatos, mas com a dedução de sua necessidade. A originalidade do método de Galileu e seu mérito na criação da física moderna estão justamente na articulação desses dois aspectos. Podemos resumir assim, os quatro momentos do seu método:

- observação imediata do fenômeno na sua complexidade, "as observações cuidadosas";
- a resolução dessa complexidade nos elementos mais simples traduzíveis em relações quantitativas, ou em linguagem matemática;
- a formulação de uma hipótese explicativa;
- a verificação da hipótese como cálculo e experimento - a experimentação.

Com esse método, Galileu define o modo e o sentido da aplicabilidade da lei matemática à experiência. Essa lei, é importante ressaltar, vale para as relações consideradas em sua pureza geométrica-matemática - expressões racionais que nunca aparecem na natureza, na qual, cada elemento e cada relação se apresentam de modo profundamente complexos. Todavia, uma vez traduzida essa lei em sua simplicidade matemática (uma mensuração, uma forma geométrica, etc.), é possível, a partir dela, acercar-se dos dados da experiência mediante aproximações sucessivas. Esse processo é infinito, uma vez que o campo do inteligível nunca pode ser concluído.

Mas há, ainda, um terceiro aspecto fundamental da ciência moderna que gostaríamos de acrescentar aos dois anteriores: a utilização do instrumento científico. Aperfeiçoando uma invenção utilizada, na época, para diversão e como instrumento de navegação, Galileu criou para as observações celestes um instrumento extraordinário - o primeiro instrumento científico - o perspicillum, a luneta astronômica. Com ela Galileu pôde ultrapassar os limites impostos pela natureza aos sentidos e os conhecimento humanos. Pôde, assim, ver e mostrar a todos, coisas que ninguém antes dele havia visto ou imaginado: as montanhas da lua, as manchas do sol, os satélites de Júpiter, a constituição da Via Láctea e de várias nebulosas.

As observações astronômicas de Galileu contribuíram para destruir a idéia de Cosmos finito e hierarquizado, confirmar a teoria heliocêntrica de Copérnico, desacreditar a medicina astrológica - fundada na "perfeição" dos astros e do mundo supralunar - e consagrar a derrota dos fazedores de horóscopo. A Terra - lugar habitado pelos homens, criaturas feitas à imagem e semelhança de Deus - não seria mais o ponto fixo no centro do universo. A imagem que os homens faziam do mundo deve agora ser radicalmente transformada. A Bíblia perde o seu lugar de Enciclopédia das Ciências e o lugar do homem e da mulher no mundo não será mais regulado por uma pré-determinação astral ou teológica.

De fato, as descobertas de Galileu abalaram as bases de uma série de crenças articuladas à idéia Cosmos, isto é, de um universo finito e hierarquizado. Os séculos que testemunharam o Renascimento estavam impregnados de ocultismo, de magia e de astrologia. O mundo supralunar, como vimos, reservado às substâncias mais puras e perfeitas, exercia sua prioridade e sua influência sobre o mundo imperfeito das coisas terrestres. A medicina astrológica era, naquele momento, objeto de vivo interesse científico na Europa. Paracelso, por exemplo, elaborou todo um estudo das doenças provocadas por efeitos cósmico-climatológicos, atribuindo poder terapêutico aos astros. Cada parte do corpo humano estaria sujeita a um astro. Tycho Brahe, outro estudioso do assunto, chegou mesmo a elaborar uma lista de equivalências: ao sol, por exemplo, corresponderia o coração, o estômago o cérebro, os nervos e o olho direito; à lua, o braço, a cabeça, o ventre e o estômago da mulher, e assim por diante.

Essa medicina tinha como pressuposto um mundo supralunar perfeito, habitado por seres

perfeitos - no caso os astros, perfeitamente lisos, perfeitamente esféricos, descrevendo órbitas perfeitamente circulares - oposto ao mundo imperfeito do dia-a-dia dos homens e mulheres. A Terra tinha montanhas, dizia-se, como consequência dos pecados dos seres humanos. Acreditava-se também que o ser humano habitava o centro desse mundo fechado, no topo do qual, formando seu "teto", estaria a segurança do céu habitado por Deus, para onde se dirigiriam os homens bons depois da morte.

Ao voltar sua luneta para o alto, Galileu demonstra as bases falsas desse mundo de crenças. Copérnico tinha razão. O Sol, fonte de luz do mundo, estava no centro do sistema e a Terra girava em torno dele e de seu próprio eixo. O Sol, o mais perfeito dos astros, possuía manchas; a Lua, montanhas - como explicá-las se lá não havia homens para pecar? Por outro lado, colocando dúvidas sobre a finitude do universo, argumentava Galileu, "não se pode provar que as estrelas fixas estejam dispostas numa esfera e nem mesmo é possível saber qual é a forma do firmamento, como sequer se ele tem uma forma."

As descobertas do sábio italiano abalaram profundamente toda a legitimação metafísica e teológica, construída pela Igreja para manter sua estrutura de poder, já bastante abalada pela Reforma protestante. Mas a Igreja italiana era, ainda, suficientemente forte para condenar Galileu e obrigá-lo a renegar, perante o tribunal da Inquisição, todas as suas descobertas que ameaçavam o poder da Igreja, inclusive a de que a Terra se move. Diz a lenda - e são muitas as lendas que envolvem a vida de Galileu - que após o julgamento ele teria dito: e, no entanto, ela se move. Galileu morre velho e cego em 1642.

Muito se tem discutido sobre essa condenação. O que nos interessa salientar é que não se tratou de um erro judiciário, nem foi o resultado de um debate sobre diferentes tipos de conhecimento. A nosso ver, a condenação de Galileu foi uma das últimas tentativas de impedir que uma era chegasse ao fim, que fosse substituída pelos tempos prenunciados pelas novas relações que se instituíam. Entre elas, a relação própria do ato de conhecimento. O que estava em jogo era o próprio sentido da condição humana, o próprio significado da religiosidade, a questão mesma do fundamento do conhecimento.

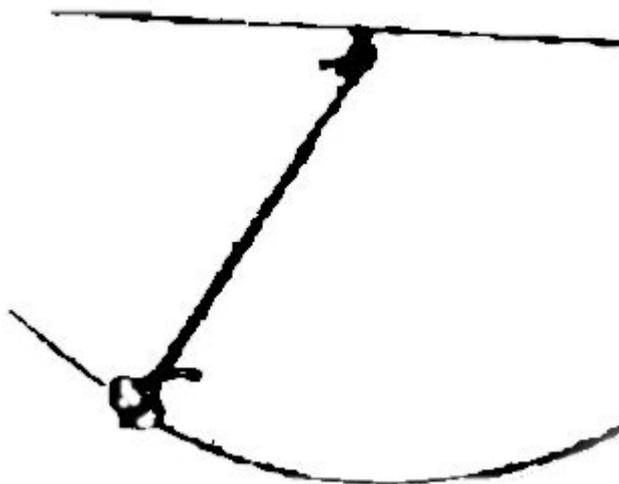
#### **4. CALCULANDO COM GALILEU**

Após esta sumária apresentação do tempo, do acontecimento e do personagem que centralizam a atenção de nosso texto, gostaríamos de exemplificar algumas das contribuições de Galileu e convidar os leitores e as leitoras a calcularem com ele, a utilizarem seu método de investigação.

##### **4.1. Galileu e o Candelabro da Catedral de Pisa:**

De acordo com o eminente físico George Gamow (1973), o primeiro estudo verdadeiramente científico sobre a queda dos corpos foi realizado por Galileu, ainda quando jovem. Segundo a lenda, certo dia Galileu assistia a uma missa na catedral de Pisa. Distraidamente, observou o movimento do candelabro da catedral - indo e vindo, balançando.

Figura 1 . O Pêndulo



Curioso, verificou, através dos batimentos do seu próprio pulso, uma coincidência entre as oscilações descritas pelo candelabro e seu tempo de duração. De volta à casa, resolveu investigar o movimento que tanto o intrigara. Tomou um barbante e uma pedra e assim construiu um pêndulo que oscilava como o candelabro. Observou que, embora os movimentos sucessivos se tornassem cada vez mais curtos, pois o pêndulo ia parando, o tempo de cada oscilação, medido por meio de suas pulsações, permanecia o mesmo. Utilizando uma série de pedras de pesos diferentes e barbantes de diferentes comprimentos, ele concluiu que o período de oscilação de um pêndulo independe da massa e é

diretamente proporcional ao comprimento. Na realidade Galileu estava criando as Leis do Isocronismo, que afirmam:

a) O período de oscilação do pêndulo depende do comprimento ( $l$ ) de sua haste - quanto maior o comprimento, maior o período;

b) O período de oscilação não depende do peso do pêndulo - pesos diferentes têm sempre o mesmo período.

Estas observações foram sistematizadas matematicamente na equação que determina o período de oscilação de um pêndulo simples:  $T=2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ , onde  $l$  é o comprimento do pêndulo,  $\pi = 3,14$  e  $g$  (aproximadamente  $10,0 \text{ m/s}^2$ ) a aceleração da gravidade no local, que varia ligeiramente com a latitude na superfície da Terra e com a altitude acima do nível do mar.

Gostaríamos de convidá-los a verificar, na prática, as descobertas de Galileu construindo um pêndulo. Para isso precisamos de barbante, um relógio digital e duas porcas, de 25 e 50 gramas. Utilize uma pedaço de barbante de aproximadamente cinco palmos, o que medirá aproximadamente 100 cm, para a haste, amarrando-o em uma das extremidades à porca de 25 gramas. Mantenha-o na posição de equilíbrio vertical, como se fosse um prumo. Afaste-o então da posição perpendicular por um ângulo de  $90^\circ$ , levando o pêndulo à posição horizontal, soltando-o livremente. Com o relógio, meça o tempo gasto em 5 oscilações completas (movimentos de ir e vir do pêndulo). Após anotar os tempos na Tabela abaixo, some-os e divida o resultado por 4, encontrando o tempo médio que representa o tempo de uma oscilação. Repita as operações para o pêndulo com a metade do comprimento, dividindo o barbante ao meio. O mesmo procedimento deverá ser seguido para um pêndulo cuja massa pendular é constituída pela porca de 50 gramas.

Tabela 1. Período de Oscilação do Pêndulo Simples

Período	Porca pequena		Porca grande	
	Comprimento de 50 cm	Comprimento de 100cm	Comprimento de 50 cm	Comprimento de 100cm
T1				
T2				
T3				
T4				
Tmédio				

Você pode, então, efetuar os cálculos substituindo os valores diretamente na equação do período, comparando-os, depois, com os valores encontrados no experimento. Você pode concluir: Galileu estava ou não correto?

#### 4.2. Galileu e a Torre Inclinada de Pisa.

Figura 2 - Torre inclinada.



Como vimos, ainda nos tempos de Galileu imperavam as explicações greco-medievais sobre o mundo sublunar, o mundo dos fenômenos físicos, fundamentalmente apoiadas nas formulações de Aristóteles. O pensador grego afirmara, sem nunca efetuar um único teste ou comprovação, que os

corpos mais pesados caíam mais rapidamente que os mais leves. O que, diga-se de passagem, está perfeitamente de acordo com a lógica do senso comum, pois quando observamos a queda de um corpo qualquer como um livro e a comparamos com a queda de uma folha de papel aberta, percebemos que o livro, que muito mais pesado que a folha de papel, sempre chega primeiro ao solo. Ainda hoje, o senso comum e os mecanismos de associação do pensamento concreto de crianças e adolescentes, comparando a queda simultânea, de uma mesma altura, de uma folha de papel e de uma moeda, por exemplo, não exita em aceitar que a moeda - por ser mais pesada - chega primeiro ao chão.

Como nos informa ainda Gamow, depois de observar o sincronismo pendular Galileu estava desconfiado de que tanto um corpo mais leve quanto um mais pesado levavam o mesmo tempo para "cair". Esta suposição era fundamentada nas experiências com o pêndulo: a massa pendular descrevia um semi-arco ao oscilar. Portanto, pensava Galileu, o movimento pendular nada mais era que a queda de um corpo desviada da direção vertical pela vinculação ao barbante, forçando o objeto a mover-se ao longo de um arco cujo centro está no ponto de suspensão. Cortado o vínculo, deveriam os corpos - pesado e leve - cair ao solo ao mesmo tempo.

Para demonstrar as conclusões a que chegara através do pensamento lógico, conta-se que Galileu subiu ao cume da Torre inclinada de Pisa e de lá deixou cair alguns pesos, comprovando o equívoco do senso comum e de Aristóteles.

Para repetir o experimento de Galileu, necessitamos de duas moedas, uma de 50,0 centavos e outra de 1,0 real, uma mesa (para substituir a Torre de Pizza), um relógio digital e de um assistente que marcará o tempo. Do alto da mesa, com os braços estirados para cima, deixe cair livremente, simultaneamente, por cinco vezes, de uma mesma altura, as duas moedas, enquanto o assistente confere o tempo de queda e o anota na tabela abaixo.

Tabela 2 - Tempo de Queda Livre das Moedas

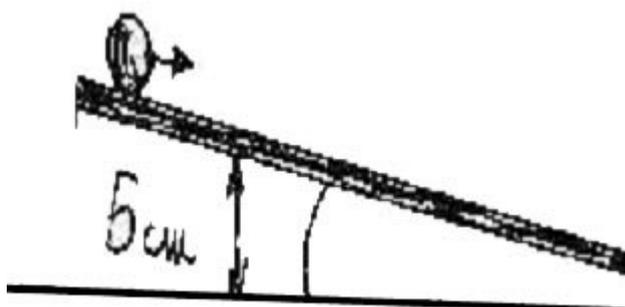
Tempo (s)	Moeda 1	Moeda 2
T1		
T2		
T3		
T4		
T5		
Tmédio		

Poderemos verificar, com ligeira discrepância, que o tempo de queda de ambas as moedas foi o mesmo. Por qual razão não são exatamente iguais? Bem, existe intervenientes que precisamos considerar, dentre eles a resistência do ar - uma certa forma de atrito - que é mais notada em função da superfície de contato. Isto, de certa forma, explica o atraso no tempo de queda de uma folha de papel (aberta) quando comparada com o tempo de queda de outra, amassada, por exemplo.

### 4.3. Galileu e o Plano Inclinado

A maior dificuldade de Galileu, ao estudar os corpos que caem, parece ter residido na relação matemática entre o espaço percorrido pelo corpo e o tempo gasto no percurso. Isto porque, a queda livre é sempre muito rápida e os nossos sentidos não nos permitem aquilatá-la. Por outro lado, evidentemente, Galileu não poderia utilizar os instrumentos que temos hoje - como a câmara de filmar. Galileu, então, resolveu o problema utilizando-se do Plano Inclinado.

Figura3 - Plano inclinado.



Para repetir o experimento galileano, precisamos de uma tábua de aproximadamente 2,0 metros de comprimento, plana e polida, uma fita métrica ou milimetrada, duas esferas de diferentes materiais (pesos diferentes), um relógio digital (preferencialmente um cronômetro), uma mesa grande e um livro cuja espessura seja conhecida (digamos, 5 cm). Escolha uma das esferas e deixe-a rolar livremente, do topo do plano inclinado, marcando a sua posição na fita métrica (tábua do plano inclinado) quando esta estiver rolando durante os tempos de 1s, 2s, 3s, 4s, ..., preenchendo a tabela abaixo.

Tabela 3. Espaço percorrido no Plano Inclinado

Movimento no Plano Inclinado					
Tempo (s)	1	2	3	4	5
Espaço (cm)					

Se a experiência for repetida algumas vezes, para que se obtenha com a maior exatidão as medidas do espaço percorrido - obtendo-se a média de espaços para cada tempo - poderemos verificar que elas são, com algumas correções: 12 cm, 49 cm, 110 cm, 198 cm ...

Pensando no problema, Galileu buscou uma regra matemática para descrever o movimento em função dos espaços percorridos, uma vez que as distâncias percorridas, a partir da segunda, guardavam entre si um fator multiplicador da distância percorrida no primeiro segundo. Isto permitia construir a seguinte tabela:

Tabela 4. Movimento no Plano Inclinado

Tempo	1s	2s	3s	4s
Distância	12 cm	4x12cm	9x12cm	16 x12 cm
		4= 2x2	9 = 3x3	16=4x4
Fator		2 <sup>2</sup>	3 <sup>2</sup>	4 <sup>2</sup>

Com uma tabela como esta nas mãos, foi fácil para o gênio que era Galileu estabelecer uma lei, generalizando os fatos observados: a distância percorrida por um corpo em queda livre aumenta na mesma proporção que os quadrados dos tempos de percursos.

Há que se perguntar: o que ocorre quando a inclinação da tábua aumenta? Ora, chegando a 90 graus, teremos a queda livre! Vale ressaltar ainda que a inclinação da tábua em relação ao plano será de 5 cm/200 cm, que guarda, simplificando-se, a mesma proporção que 1/40. Esta taxa nos indica a proporção de redução da força gravitacional que atua sobre um corpo em movimento livre sobre o plano inclinado.

Perguntamos: os dados coletados seriam os mesmos, para outra esfera, de peso diferente? Vale a penas tentar!

#### 4.4. Galileu e a Composição de Movimentos

Contra a argumentação vigente em seu tempo de que o movimento dos corpos sublunares era uma manifestação inerente à sua natureza, à sua qualidade, Galileu resolveu investigar a ocorrência dos movimentos. Verificou que estes podem ser compostos por vários movimentos independentes e simultâneos. Vamos acompanhar o exercício mental de Galileu.

Suponha que uma pessoa esteja em uma balsa que faz a travessia de um rio, descrevendo uma trajetória retilínea, vertical, procurando atingir um certo ponto da margem oposta. Durante o trajeto, um passageiro movimenta-se na balsa perpendicularmente ao movimento de travessia. Se a balsa for arrastada por uma corrente fluvial no canal do rio, o movimento do passageiro será afetado, portanto, por dois movimentos: o da balsa e o da correnteza. O movimento real do passageiro, portanto, será um movimento composto, resultante da combinação de três movimentos simultâneos - dele próprio, da balsa e da correnteza do rio.

Os estudos de Galileu acerca do movimento levaram-no a enunciar o seguinte princípio da composição : quando um móvel está animado de dois ou mais movimentos simultâneos, cada movimento efetua-se como se os outros não existissem.

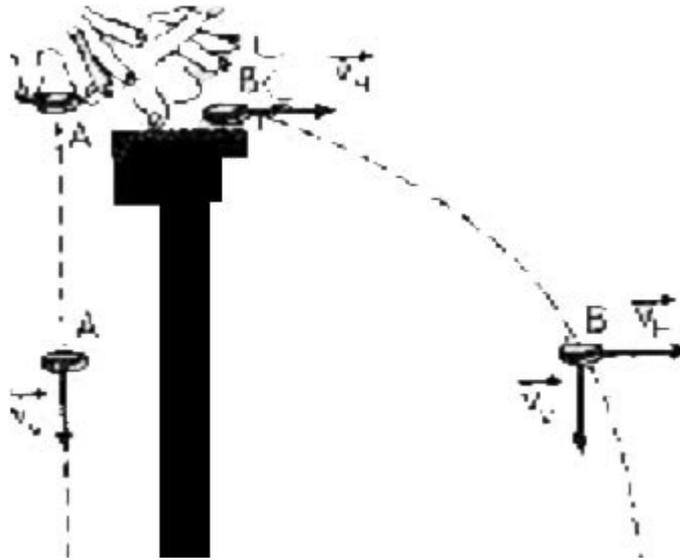
Na realidade, seu o raciocínio era mais ou menos assim: o móvel animado de dois ou mais movimentos simultâneos ocupa, no fim de um tempo t, a mesma posição que ocuparia se os movimentos fossem sucessivos e cada um de mesma duração. Como se você fosse mover uma cadeira para fora da sala de aula em dois movimentos: movendo-a até à metade da sala e depois, movendo-a até fora, gastando dois tempos para executar os movimentos. Galileu idealizara ser desnecessário levar

até hoje, gastando dois tempos para executar os movimentos. Galileu idealizara ser desnecessário levar em consideração a quantidade e os momentos de atuação, pois o móvel sairia de uma e ocuparia outra posição ao final do tempo total. Deste princípio, Galileu pode deduzir:

a) a soma de dois movimentos retilíneos e uniformes resulta um movimento retilíneo e uniforme;

b) somando um movimento uniforme com um movimento uniformemente acelerado resulta o movimento que descreve uma curva parabólica.

Figura 4. Composição de movimentos.



Mas, vamos desvendar o raciocínio de Galileu. Suponha que se atire, horizontalmente, do alto de um prédio, uma bola de gude de massa  $m$ . Se não houvesse a atração terrestre, nem os atritos dissipativos com o ar sobre a bola de gude, esta continuaria em movimento uniforme horizontal, cujos espaços percorridos atenderiam a seguinte Lei:  $S = vt$  (onde  $v$  seria a velocidade comunicada á bola no momento do lançamento e  $t$  o tempo gasto).

Caso a bola caísse livremente, atraída apenas pela ação gravitacional, sua trajetória seria vertical, em movimento acelerado segundo a lei dos espaços:  $S = \frac{1}{2} g t^2$ , onde  $g$  é aceleração da gravidade do local.

De acordo com o Princípio da Composição de Movimentos, de Galileu, é fácil verificar que o movimento composto ocorre sempre na vertical e na horizontal, pois o corpo anda uma distância  $x$  ao mesmo tempo que percorre uma altura  $y$ .

Lançando-se livremente uma bola de 100 gramas com uma velocidade constante de  $v = 2,0$  m/s, durando um tempo  $t = 5$  segundos, seu movimento na horizontal não considerará a gravidade mas a considerará na vertical. Teremos os seguintes valores para os espaços percorridos:  $S_h = v (t) = 2 \text{ m/s} (5 \text{ s}) = 10 \text{ m}$ , na horizontal e  $S_v = \frac{1}{2} (10 \text{ m/s}^2) (5 \text{ s})^2 = 125 \text{ m}$ , na vertical. Conclusão: a bola cairia a 10 metros do local de lançamento e de uma altura de 125 metros.

#### 4.5. Galileu e a balística

Galileu, por problemas financeiros, mas também pelo espírito inquisidor e criativo, também optou por executar atividades lucrativas, como por exemplo, trabalhar para a máquina de guerra das cidades-estados, teorizando e praticando a balística, ou estudo dos projéteis. Mais uma vez contrapõem-se ao aristotelismo.

Figura 5. Balística.



Acreditava-se, por influência de Aristóteles, que apenas uma força - e só uma - agia sobre um

corpo em um dado instante. Por meio de uma experiência de pensamento - muito tempo depois utilizada também por Albert Einstein - Galileu afirmou que : deixando-se cair um corpo, do alto de um mastro de um navio, mesmo em movimento, o corpo nunca cairia atrás do mastro, mas ao contrário, sempre à sua base. Isto porque, o corpo além de sofrer a ação gravitacional sofrerá também a ação do movimento do navio, para a frente. A partir daí, concluiu: as balas disparadas por um canhão, sofre a ação de duas forças - a impulsional - provocada pela explosão dentro do canhão - que equivaleria ao movimento do barco, e a gravitacional.

Se não houvesse a ação da força gravitacional, como já discutimos anteriormente, o movimento seria uniforme, apenas na horizontal. No caso do canhão, a força de impulso imprimiria um movimento uniforme ao projétil pois a velocidade seria constante, dependente apenas da explosão. Para Aristóteles, sob ação de uma única força, a bala de canhão movia-se com velocidade constante, em linha reta e despencaria sobre o alvo, quando gastasse a força impulsora.

Galileu supôs que duas forças agiriam sobre a bala e desta composição, como colocado anteriormente, surgiria uma trajetória parabólica após a linha reta causada pelo movimento impulsor. Sob ação da gravidade a trajetória da bala seria um arco. As distâncias atingidas pelos canhões seriam máxima para ângulos de 45° de inclinação do canhão com a horizontal.

Um exemplo talvez seja elucidativo: um canhão deve atirar um projétil de 5 Kg com uma velocidade de cano (inicial) de 300 m/s, para atingir um alvo situado a uma distância  $x$  do canhão. Utiliza-se um angulo de inclinação de 45° com a horizontal. Qual deverá ser o alcance máximo (a distância desde a saída do projétil do cano do canhão até o ponto de queda, contada sobre a horizontal) de tiro? Qual deve ser a altura máxima (hm) que o projétil atingirá sobre a horizontal do ponto de saída?

Neste caso temos um movimento sob ação de pelo menos (poderiam ser mais?) duas forças : impulsão e gravidade. O movimento horizontal, causado pela explosão é uniforme, com velocidade constante, que nos fornece o alcance máximo:  $X_m = V_0 t \cos a$  ( onde  $v_0 t$  é o produto da velocidade inicial pelo tempo e  $\cos a$  é o arco do angulo de tiro) ou  $X_m = 300 (\sqrt{2}/2) t$ .

O segundo movimento, sob a ação da gravidade, que nos fornecerá a queda propriamente dita, será um movimento uniformemente retardado:  $y = V_0 t \sin a - \frac{1}{2} (g) t^2$  (onde  $\sin a$  é o seno do angulo de tiro) ou  $y = 300 (\sqrt{2}/2) t - 10 t^2$  .

O movimento do projétil descreve uma parábola que pode ser obtida eliminando o tempo (t) nas equações anteriores. Para tanto podemos utilizar  $t = x/v_0 \cdot \cos a$  , substituindo-se nas equações, resultando daí:  $Y = x \cdot \tan a - g \cdot x^2 / 2 v_0^2 \cdot \cos^2 a$  ou  $y = x - 10 (x)^2 / (300)^2$  . Fazendo  $y = 0$  , teremos dois valores para  $x$ . Um deles é o ponto de partida do projétil,  $x = 0$ . O outro representa o alcance procurado.

#### **4.6. Galileu e os fatores de "escala"**

Uma das grandes contribuições de Galileu, que nos mostram um pouco de sua genialidade, é o seu estudo sobre escalas. Ele precisava construir (e imaginar) máquinas. E assim, experimentou, saindo da concepção mental do desenho para as maquetes e destas para o plano real. Necessitava, portanto, dos fatores de escala. Se, como Galileu afirmava, o universo tem uma chave, o número, o fator de escala é um dos fortes argumentos para sua comprovação.

Vejamos a questão: por que as baleias (até 20 toneladas) morrem ao ficarem encalhadas nas praias? É possível construir prédios de qualquer altura? Os dinossauros, com tamanha massa, poderiam movimentar-se tão agilmente como o fazem nas telas do cinema? O que mudaria em um homem, semelhante a nós próprios, mas de 5 metros de altura (Mundo de Gulliver)? De que depende a capacidade de um levantador de peso? Por que uma formiga pode carregar fragmentos de alimentos muitas vezes superior ao seu peso, se o homem, muitas vezes maior, não o pode fazer-lo?

Vamos aos exemplos: supondo que uma pessoa de comprimento  $l$ , duplicasse, por um passe de mágica, o seu comprimento. O novo comprimento, duplicado, seria:  $l' = 2 l$ . O que isto traria de implicações para o movimento e enfim, para a vida cotidiana dessa pessoa? A área corporal que é proporcional ao quadrado do comprimento  $(l)^2$  passaria a ser, portanto  $(l')^2 = (2 l)^2 = 4 (l)^2$ , ou seja, o homem teria uma área corporal quatro vezes maior. Você já pensou no quanto gastaria para fazer um terno novo?. Mas os transtornos não param por aqui. Vejamos o volume, que é proporcional a  $(l)^3$ , que passaria a ser  $(l')^3 = (2 l)^3 = 8 (l)^3 = 8 (l)^3$ , portanto, 8 vezes maior.

Seguindo este raciocínio, se todas as dimensões do nosso corpo (a) fosse multiplicada por 10, teríamos o nosso comprimento mediando 10 a. A área da secção transversal de nossos ossos seria multiplicada por 100 e o volume de nosso corpo, por 1000.. Não param por aqui as implicações do fator de escala. A resistência de nossos ossos é proporcional à área de seccão reta, daí porque os levantadores de peso têm que desenvolver os músculos das pernas, o pegador de luta de braço, a

região do bíceps. Isto implica em que a resistência - capacidade óssea de sustentação - ficaria multiplicada por 100. Como o peso de um corpo é diretamente proporcional ao seu volume, teríamos 1000 vezes o peso atual!

Como locomover-se, carregando o peso do próprio corpo? Onde ficaria o coração e a pressão necessária para bombear todo o nosso sangue? Como ficaria a troca de calor - por evaporação, por exemplo -, que depende da área do corpo? E a capacidade de alimentação que é transformada em combustível (energia) para ser gasto em trabalho - do metabolismo basal aos esforços físicos ?

Como se pode depreender, Galileu ainda está vivo. As questões que ele levantou e fez progredir a ciência ainda permanecem vivas às portas do Século XXI. Suas conquistas permaneceram muito além da religião, da igreja, dos tolos e dos falsos sábios e doutos - de fé cega - que lhe caçaram a palavra mas nunca a riqueza de sua mente. E, apesar de tudo, a Terra continua em movimento!

---

## 5. BIBLIOGRAFIA

CHAUÍ, M. S. (1984) "Filosofia moderna", in: **Fazer Filosofia**. S. Paulo: Brasiliense.

KOYRÉ, A. (1966) **Études Galiléennes**. Paris: Hermann.

LUZ, M. T. (1988) **Natural, racional, social, razão médica e racionalidade científica**. Rio de Janeiro: Campus.

GAMOW, G.(1973). **Gravidade**. São Paulo: Edart.

WHITE, M. (1992). **Galileu Galilei**. Rio de Janeiro, Globo.

---

[Edição anterior](#)

[Página inicial](#)

[Próxima edição](#)

[Cadernos](#) :: edição: 2000 - Nº 16 > [Editorial](#) > [Índice](#) > [Resumo](#) > **[Artigo](#)**