

## Mersenne e a Teoria da Vibração das Cordas\*

Paulo Tadeu da Silva\*\*

No final de 1636 Marin Mersenne publica a primeira parte de sua obra mais importante: o tratado *Harmonie Universelle*. Em 1637 o projeto é finalmente concluído e a comunidade filosófica e científica do período tem a sua disposição um valioso material que discute desde questões relativas à natureza do som até aquelas concernentes à composição musical. O objetivo deste artigo consiste em apresentar algumas considerações sobre o terceiro livro dessa obra, no qual Mersenne desenvolve um estudo sobre o movimento das cordas vibrantes. Contudo, antes de apresentar tais considerações, e exatamente em virtude delas, é preciso esclarecer alguns pressupostos que estão em jogo em determinadas proposições do terceiro livro.

O estudo do movimento das cordas desenvolvido ao longo de algumas proposições do terceiro livro do *Harmonie Universelle* pressupõe, pelo menos, dois aspectos desenvolvidos no primeiro livro dessa mesma obra. O primeiro deles diz respeito à própria natureza do som, ou seja, o que ele é. O segundo está relacionado com o meio no qual o som se propaga. Vejamos inicialmente o problema da natureza do som.

---

\* O artigo apresentado aqui corresponde à segunda parte do terceiro capítulo de minha dissertação de mestrado, *Mersenne e a Mecânica do Som*. Para uma discussão mais detalhada sobre o livro I do *Harmonie Universelle*, veja-se a primeira parte desse mesmo capítulo.

\*\* Doutorando do Departamento de Filosofia da USP.

“É preciso portanto concluir que todos os movimentos produzidos no ar, na água, ou em outro lugar, podem ser chamados de Sons; de modo que somente lhes falta um ouvido muito delicado e sutil para os ouvir; e que podemos dizer a mesma coisa do barulho do trovão e do canhão com respeito a um surdo, que não percebe esses grandes ruídos: pois o movimento, ou a vibração que ele sente, não é chamada de Som, e no entanto é capaz de se fazer sentir aos espíritos do ouvido: de maneira que o Som pode ser definido como *um movimento do ar exterior ou interior capaz de ser ouvido*; eu digo, *ou interior*, em virtude dos ruídos que são produzidos dentro do ouvido.” (Mersenne 2, Livro I, p. 2)

“(…) isto me faz concluir que aquilo que torna esse movimento capaz de ser ouvido, não é outra coisa senão que ele movimenta uma quantidade de ar presa, capaz de enfraquecer sua prisão, e de ser comunicada ao ar exterior vizinho até que este chegue ao ouvido.” (Mersenne 2, Livro I, p. 2)

As duas passagens transcritas acima apresentam-nos a definição de som sustentada por Mersenne. De acordo com o autor, o som é um movimento capaz de ser ouvido. Embora o termo capaz (*capable*) nos cause alguma estranheza, ele me parece ser utilizado aqui para enfatizar o efeito que advém de um determinado fenômeno natural. Com efeito, Mersenne refere-se a um movimento que possui como um de seus efeitos a apreensão do mesmo como algo que fere um de nossos sentidos, a saber: a audição. Nessa medida, tal movimento possui a característica de poder ser percebido como som. É precisamente essa propriedade fundamental que servirá de base para a construção da teoria da vibração das cordas. É importante notar aqui alguns aspectos importantes.

Em primeiro lugar, ao afirmar que o som é um movimento que pode ser ouvido, Mersenne faz com que o som possa ser investigado através daquilo mesmo que o produz, isto é, o movimento que o causou. Nesse sentido, temos aí um dos princípios necessários para o estabelecimento de uma mecânica do som. O estudo do som está, portanto, associado ao estudo dos movimentos que o

produzem. Ora, como veremos, este é justamente um dos aspectos presentes no terceiro livro do *Harmonie Universelle*.

Em segundo lugar, a associação do som a um tipo de movimento afasta um obstáculo que preocupa nosso autor, a saber: a idéia de que o som seria meramente uma percepção do sujeito e, nesse sentido, de acordo com Mersenne, não possuiria um *ser real*, isto é, seria algo imaginário. Ora, a fim de produzir uma mecânica do som, é preciso estabelecer que o objeto em questão pode ser investigado dentro de parâmetros reais ou naturais. Nesse sentido, é de suma importância que se encontre um meio que permita o estudo do som dentro desses parâmetros, o que significa, inclusive, a possibilidade de investigá-lo experimentalmente e expressar determinadas propriedades através de uma linguagem matemática.

Em terceiro lugar, de acordo com as passagens citadas acima, o movimento que produz o som é transmitido às partes que compõe o meio, as quais, por sua vez, comunicam o movimento produzido ao ouvido humano. Assim, é preciso levar em conta a natureza do meio no qual o som é transmitido. Contudo, antes de discutir essa condição complementar, convém esclarecer a natureza do movimento em questão.

Como dito acima, o som configura-se como um determinado tipo de movimento. Resta saber, portanto, que tipo de movimento é este.

“Tudo isto não impede portanto que o Som possa ser chamado *colisão* ou *batimento de ar*, que fazem os corpos no meio que recebe o movimento, e que é ferido ou rompido e dividido pelos corpos que produzem ou que recebem o movimento, visto que esta colisão é o que nos faz perceber este movimento, quando ele altera, ou quando ele move os espíritos do ouvido, e que a causa pode receber o nome de seu efeito.” (Mersenne 2, Livro I, p. 3)

Ora, o movimento em questão configura-se, como afirma Mersenne, como um batimento. Nesse sentido, poderíamos compreender o som como o resultado do movimento vibratório de um

corpo qualquer. A vibração originariamente produzida pelo corpo em movimento é conseqüentemente transmitida ao meio circundante que, por sua vez, transmite essa mesma vibração ao ouvido. Tal caracterização pressupõe ainda que tal movimento produza um batimento ou colisão no meio circundante. Assim, o movimento vibratório requer, para sua conseqüente apreensão pelo ouvido, o choque das partes que compõe o meio no qual ele se propaga.

Essa caracterização nos dirige imediatamente para a questão da natureza do meio no qual o som se propaga.

Ao investigar este problema Mersenne esbarra evidentemente na questão do vazio. Tendo em vista a finalidade desses esclarecimentos iniciais, não pretendo desenvolver aqui a discussão mersenniana sobre esse problema. É suficiente aqui chamar a atenção para algo bastante evidente. Dada a natureza do som é preciso reconhecer a necessidade de um meio fluido pleno que garanta a sua propagação através do choque de suas partes. Desse modo, o som não se propaga no vazio.

Estabelecidos esses princípios podemos passar ao exame das proposições nas quais Mersenne desenvolve a teoria da vibração das cordas. Como veremos, tal teoria tem como pilares fundamentais os aspectos levantados até aqui.

O terceiro livro do *Harmonie Universelle* é dedicado ao estudo do movimento das cordas e dos tubos. Esse estudo é certamente fundamental para o entendimento dos movimentos que originam o som; todavia, não pretendo apresentar uma análise completa do livro. Como dito inicialmente, o objetivo do presente artigo consiste em fornecer um panorama geral da teoria da vibração das cordas proposta por Mersenne ao longo desse mesmo livro. Tendo em vista tão somente a análise dessa teoria, discutirei apenas aquelas proposições diretamente relacionadas com o tema em questão.

As nove primeiras proposições do terceiro livro do *Harmonie Universelle* formam um bloco inteiramente dedicado ao movimento das cordas vibrantes, no qual encontramos uma exposição sobre diversos aspectos do problema: desde a lei que deter-

mina a razão entre o comprimento da corda e o número de vibrações que ela produz até os limites perceptivos do olho e do ouvido. A exposição mersenniana nem sempre é suficientemente clara e, por outro lado, os problemas apontados às vezes ficam sem solução. Contudo, notamos sempre a presença de dois pilares fundamentais da metodologia do autor: por um lado o forte apelo à experiência e à razão, por outro, a afirmação clara de que o homem nem sempre é capaz de desvendar os mistérios presentes na natureza<sup>(1)</sup>. Feito este breve preâmbulo sobre o texto em questão, vejamos o que há de fundamental nesse primeiro grupo de proposições.

Mersenne abre o terceiro livro com a seguinte lei: “A razão do número de vibrações de todos os tipos de cordas é inversa ao seu comprimento”. Isto significa que quanto maior for a corda, menor será o número de vibrações que ela produz. A fim de estabelecer essa relação o autor procede da seguinte maneira:

“Seja a corda AB fixada às duas cravelhas do Monocórdio nos dois pontos A e B, e a corda AF fixada nos pontos A e F; eu afirmo que a corda AB sendo puxada até o ponto G não retornará senão uma vez ao ponto F, enquanto a corda AF puxada até o ponto I, retornará duas vezes ao ponto H, como mostra a experiência; de modo que AF voltará sempre duas vezes enquanto que AB não voltará senão uma vez; conseqüentemente o número de retornos de AF é o dobro daquele de AB; como a corda AB é o dobro da corda AF, de onde se segue que o número de movimentos ou de retornos de uma corda aumenta na mesma razão que o comprimento diminui, e conseqüentemente que a razão dos ditos retornos é inversa à razão dos comprimentos da corda.” (Mersenne 2, Livro III, p. 157)

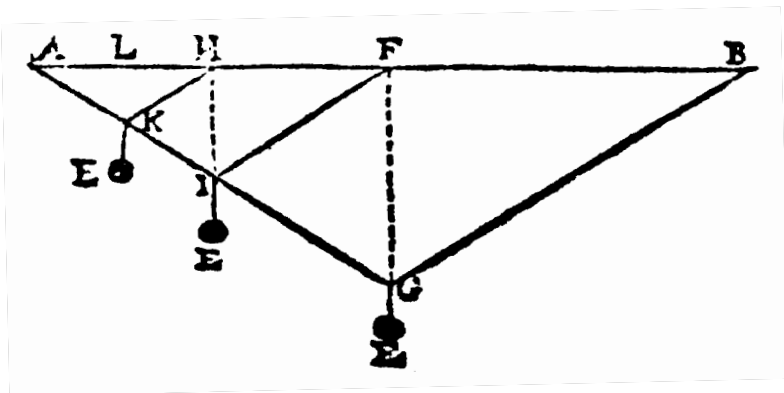


Figura 1. *Harmonie Universelle*. p. 157

O primeiro passo consiste em tomar duas cordas de tamanhos diferentes. Neste caso, uma é o dobro da outra. Assim, o número de vibrações produzido pela corda AF será o dobro daquele produzido por AB, visto que um ponto similarmente tomado em cada uma delas retorna diferentemente a um ponto similarmente tomado na posição das cordas quando em repouso. Assim, o ponto I retorna duas vezes ao ponto H, enquanto o ponto G retorna apenas uma vez ao ponto F. A partir disso, Mersenne conclui facilmente que o número de vibrações da corda AF é o dobro do número de vibrações da corda AB e, além disso, que o número de vibrações de uma corda é inverso ao seu comprimento. Contudo, isso mesmo que Mersenne conclui ao final do primeiro parágrafo dessa proposição não pode ser aceito de modo tão tranqüilo. Como veremos adiante, é preciso levar em conta um aspecto fundamental presente na situação apresentada pelo autor. Porém, antes disso, é preciso evidenciar alguns pontos de contato entre a demonstração transcrita acima e os resultados obtidos no primeiro livro.

Mersenne procura mostrar no primeiro livro do *Harmonie Universelle* que o som é um tipo de movimento e que as suas ca-

racterísticas fundamentais são redutíveis ao movimento que o produz. Ora, tendo em vista o desenvolvimento feito no primeiro livro e a demonstração que abre o terceiro livro, notamos que os resultados obtidos naquele momento estão claramente presentes neste: o estudo do som é reduzido ao exame do movimento do corpo que o produz, neste caso, ao movimento da corda vibrante. Nesta medida, é possível perceber a importância do primeiro livro para a construção do terceiro. Com efeito, a idéia de que o som é um tipo de movimento — a saber, um *batimento* — configura-se como um pressuposto fundamental da teoria desenvolvida ao longo do terceiro livro. Dito isto, voltemos ao problema apontado acima.

Ora, a lei estabelecida por Mersenne não faz qualquer sentido se não tivermos em mente que as outras duas causas responsáveis pela alteração do som produzido por uma corda se mantêm constantes nas duas cordas em questão. Uma delas parece-me evidente (com efeito, Mersenne não se dá ao trabalho de analisá-la): trata-se da igualdade de espessura das duas cordas. A outra, aquela que Mersenne faz questão de lembrar, é a tensão à qual as cordas encontram-se submetidas.

“A razão dessa desigualdade de vibrações decorre da igualdade da tensão, pois o ponto G da corda AB vai tão rapidamente até F, quanto o ponto I da corda AF vai até o ponto H; o que prova que a corda AB está igualmente tendida, e também violentada até o ponto G, quanto a corda AF está com respeito ao ponto I; mas visto que o ponto G tem duas vezes mais caminho a fazer até o ponto F, que o ponto I até H, segue-se que o ponto I irá até H, e voltará de H até o ponto I, enquanto G irá até F, e que I baterá duas vezes o ar da linha AF, enquanto G baterá apenas uma vez a linha AB.” (Mersenne 2, Livro III, p. 157)

Embora o raciocínio exposto pareça confuso, é preciso chamar a atenção para a necessidade da igualdade da tensão das cordas. Caso a tensão fosse diferente, a relação apresentada aqui não

se seguiria. Com efeito, se a tensão é um dos elementos cuja variação determina uma mudança no som produzido e, portanto, no movimento realizado pela corda, é preciso que ela seja igual nas duas cordas para que as mesmas apresentem a relação sustentada pelo autor.

Na passagem transcrita acima, Mersenne afirma que o ponto G vai tão rapidamente até o ponto F quanto o ponto I vai até o ponto H. A princípio, isto pode parecer absurdo. Todavia, o raciocínio não é falacioso. Ora, Mersenne reconhece inicialmente a igualdade das velocidades de G e I e não que G e I cheguem, respectivamente, aos pontos F e H no mesmo instante. Com efeito, isso só seria possível se a velocidade de G fosse o dobro da velocidade de I, visto que a distância que G precisa percorrer é o dobro da distância entre I e H. Para que a relação estabelecida pela lei se verifique é preciso, portanto, que I e G tenham a mesma velocidade. Neste caso, como a velocidade é a mesma, I percorrerá a distância IH duas vezes, ao passo que G percorrerá a distância GF apenas uma vez. Para tanto, é fundamental que a força que retesa a corda AF e a corda AB seja a mesma, isto é, é preciso que a tensão das duas cordas seja idêntica.

Esclarecido o raciocínio presente na passagem acima, vale a pena chamar a atenção para a relação existente entre a primeira proposição do terceiro livro e a última proposição do primeiro. A última proposição do primeiro livro faz a conexão entre os livros I e III. A fim de tornar mais claro o que pretendo mostrar, vejamos o enunciado da proposição em questão:

“Demonstrar se a corda tensionada por uma cravelha, ou por um peso, está igualmente tensionada em todas as suas partes, e se a força que a retesa, comunica antes e mais forte sua impressão às partes que estão mais próximas, do que àquelas que estão mais distantes.”  
(Mersenne 2, Livro I, p. 77)

Ora, a última proposição do primeiro livro estabelece justamente a igualdade da tensão de uma corda. Tomando a corda AF

como uma parte da corda AB (a saber, a sua metade), segue-se que a tensão de AF é igual a tensão de AB. Nesta medida, a última proposição do primeiro livro fornece os elementos necessários para os resultados obtidos pela primeira proposição do terceiro livro.

Após tratar da igualdade da tensão das cordas AB e AF, Mersenne generaliza a relação verificada entre elas. Assim, fica estabelecido que o número de vibrações de uma corda é inversamente proporcional ao seu comprimento, ou seja, quanto maior a corda, menor será o número de vibrações que ela produzirá.

Mersenne conclui a proposição com o estabelecimento da relação entre sons graves e agudos. Segundo o autor, o som grave é produzido através da subtração de vibrações, ou seja, para produzir um som mais grave é preciso fazer com que a corda vibre um número menor de vezes:

“De onde se pode concluir que o Som grave se faz do agudo, pois se dividirmos o agudo, isto é se subtrairmos alguns de seus movimentos ou retornos, se fará o som grave, do mesmo modo que se faz um número menor pela divisão que se faz de um maior; por exemplo, se subtrairmos um retorno da corda AF, nós faremos o som grave da corda AB, que está uma oitava abaixo do som da corda AF, de sorte que todos os sons da Música podem ser feitos pela subtração e pela adição, pois se adicionarmos uma pulsação do ar a cada retorno da corda AB, ela fará o som agudo da corda AF.” (Mersenne 2, Livro III, p. 157)

Com isto Mersenne estabelece uma clara conexão entre o estudo do movimento da corda e o som produzido por ela, o que reforça a tese defendida ao longo do primeiro livro, a saber: o som é um tipo de movimento. Ora, nada mais oportuno do que chamar a atenção para o fato do som grave ser obtido mediante a subtração das vibrações da corda. Isto nos mostra em que medida o estudo das cordas vibrantes é fundamental para a compreensão do fenômeno sonoro.

A primeira proposição do terceiro livro apresenta ainda um conjunto de seis corolários nos quais Mersenne discute uma série de problemas direta ou indiretamente relacionados com a proposição em questão. A meu ver, esses corolários não apresentam qualquer aspecto que contribua fortemente para a análise desenvolvida até aqui, nesta medida vale a pena tão somente apontar rapidamente o que se discute neles. Nos dois primeiros, Mersenne procura relacionar o movimento de vibração de uma corda ora com o movimento de queda de uma corpo, ora com o lançamento de um projétil. No primeiro caso, ele conclui que a velocidade dos pontos G e I é maior no final da trajetória; no segundo caso, em que se compara o movimento da corda ao lançamento de um projétil, a velocidade é maior no início do movimento. O terceiro corolário retoma muito rapidamente a questão da força dos sons. No quarto corolário, Mersenne procura mostrar que o período inteiro da corda AB é o dobro do período da corda AF. O quinto corolário generaliza as relações estabelecidas na primeira proposição para todo e qualquer conjunto de instrumentos de corda. Finalmente, o sexto corolário retoma o final da proposição, enfatizando mais uma vez que o som grave é produzido através da subtração das vibrações presentes no som agudo, ou seja, através da subtração das vibrações da corda que o produz. Feito esse breve sumário dos temas presentes nos corolários que seguem a primeira proposição, vejamos o que Mersenne desenvolve na segunda.

O enunciado da segunda proposição aponta dois objetivos: explicar as diferentes velocidades de cada ida e volta da corda e em que proporção essas velocidades diminuem. Inicialmente, Mersenne chama a atenção para algo que lhe parece evidente: a primeira volta da corda é maior do que todas as outras que ela realiza, caso contrário o movimento realizado por ela seria eterno e, portanto, ela jamais entraria em repouso. Dito isso, Mersenne apresenta rapidamente alguns resultados experimentais quanto à amplitude da primeira volta e as que se seguem.<sup>(2)</sup> Isto posto, é possível destacar três pontos centrais a partir do final do primeiro parágrafo: i) a corda é mais veloz na primeira ida e volta; ii) no

ponto extremo de cada ida e volta ocorre um repouso (neste momento Mersenne indica que alguns acreditam nisto, todavia, ele não esclarece quem defende isto e tampouco se ele mesmo sustenta essa idéia); iii) o movimento da corda pode ser dividido em natural e violento.

O terceiro ponto parece-me o mais interessante e, acredito, aquele que relaciona-se com maior clareza com o que é desenvolvido posteriormente. De acordo com o texto, o movimento de uma corda é em parte natural e em parte violento. Tomando a corda AB, teríamos o movimento de C até E como um movimento natural e EH como um movimento violento. A explicação para isso é a seguinte: o ponto E pode ser comparado ao centro da Terra, o ponto C faria portanto uma trajetória análoga ao movimento de queda de um corpo rumo ao centro de nosso planeta. Nesta medida, visto que o movimento é praticamente idêntico ao movimento de queda e este é entendido como um movimento natural, segue-se que o movimento de C até E é natural. O movimento de E até H, por sua vez, é comparável ao movimento de lançamento de um projétil. Como se sabe, esse fenômeno é um tipo de movimento violento. Portanto, o movimento de E até H pode ser chamado de violento.

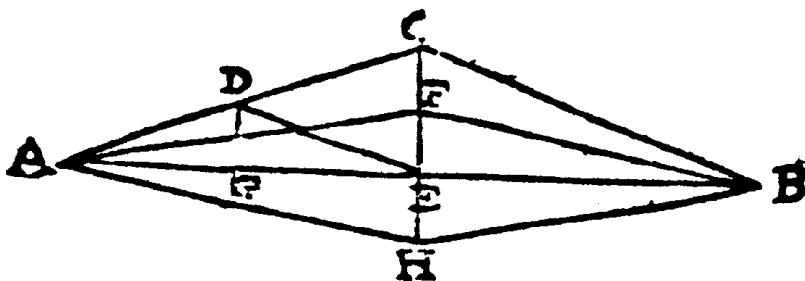


Figura 2. *Harmonie Universelle*. p. 161.

Depois de apresentar os pontos discutidos acima, Mersenne expõe três dificuldades cujas soluções são prorrogadas para o momento oportuno. De modo geral, essas três dificuldades podem ser articuladas com a idéia de que o movimento da corda pode ser dividido em natural e violento. A primeira dificuldade consiste em saber se a velocidade da corda é maior de F até E, lembrando evidentemente que o percurso de F até E é uma parcela do percurso CE que, como dito acima, pode ser entendido como um movimento natural análogo ao movimento de queda. É precisamente neste sentido que a dificuldade se coloca: se esta parte do movimento da corda é análoga ao movimento de queda, então a velocidade da corda de F até E deve ser maior do que a velocidade de C até F, tal como ocorre com os corpos em queda livre. A segunda dificuldade diz respeito ao fato da corda não parar no ponto E, visto que, como diz o autor, ela não parece ter outro objetivo senão voltar ao seu centro. A terceira dificuldade consiste em descobrir a causa das reflexões ou retornos que a corda realiza.

Como dito acima, Mersenne não soluciona essas dificuldades. Ao invés disso, ele apresenta duas hipóteses para o primeiro problema apontado no enunciado da proposição, a saber: explicar as diferentes velocidades de cada ida e volta da corda. Como veremos, as duas hipóteses estão relacionadas com alguns aspectos desenvolvidos até este momento.

O primeira maneira de solucionar o problema é supor que o movimento da corda é análogo ao movimento de lançamento de um projétil. Neste caso, a velocidade da corda seria maior no início do movimento e menor no final, ou seja, a velocidade decresce na trajetória CH. Por outro lado, supondo que o movimento seja semelhante à queda livre de um corpo, então a velocidade da corda aumenta:

“(…) mas se nós imaginarmos que C desce até E na mesma proporção de velocidade que as pedras descem ao centro da terra, é certo que C vai mais lentamente de C até F, e que ele acelera seu curso de F até E, de sorte que se FE é o triplo de CF, o ponto C passa tam-

bém mais rápido de F até E, do que de C até F, o que significa que ele faz um caminho três vezes maior no segundo momento do que no primeiro, e que os espaços que ele percorre estão na razão duplicada dos tempos que ele emprega para percorrer, e conseqüentemente que os tempos de seu curso estão em razão subdupla de seus espaços, como eu mostrei no discurso da queda dos corpos pesados.” (Mersenne 2, Livro III, p. 161)<sup>(3)</sup>

Contudo, Mersenne afirma que somente a razão não é suficiente para decidir entre as duas alternativas apontadas anteriormente. Portanto, é preciso apelar para a experiência. Diante dessa situação, Mersenne relata rapidamente os seus próprios experimentos e através deles e da razão chega à conclusão de que a velocidade do ponto C vai diminuindo até que este chegue a H. Mersenne observa ainda que a força que retesa a corda desempenha um papel fundamental no processo em questão. Com efeito, quando a corda é esticada até um ponto entre F e E, a corda demora mais tempo para realizar a ida e volta. Isto significa que quanto mais a corda aproxima-se do ponto E, menor é a sua velocidade.

Ora, a solução de Mersenne apresenta dois pontos interessantes. O primeiro diz respeito às duas hipóteses apresentadas: o autor não opta por nenhuma delas. Ao que parece, o resultado final da investigação indica uma solução que não poderia ser tranquilamente adaptada às hipóteses levantadas inicialmente. Por um lado, não me parece possível adequar o resultado obtido ao final da primeira parte da proposição com uma das idéias sustentadas inicialmente, a saber: que o movimento da corda pode ser dividido em natural e violento. Como vimos, essa idéia está relacionada com as hipóteses apresentadas posteriormente: o movimento natural identifica-se com o movimento de queda de um corpo e o movimento violento com o lançamento de um projétil. Ao supor que a velocidade da corda diminui de C até H, Mersenne, ainda que inconscientemente, enfraquece completamente a divisão do movimento da corda em natural e violento. Além disso, o resultado final obtido pelo autor indica-nos que o movimento da corda

está muito mais próximo do movimento de lançamento de um projétil, visto que a velocidade é maior no início do movimento. Todavia, como dito acima, Mersenne não opta por qualquer uma das hipóteses levantadas. Ademais, a analogia entre esses dois fenômenos não parece fornecer algo mais consistente para o exame do problema. O segundo aspecto interessante é exatamente a importância dada à experiência e à razão: elas constituem-se como dois pilares fundamentais da metodologia mersenniana.

Antes de avaliar a segunda parte da proposição, vale a pena chamar a atenção para o processo presente na primeira parte da mesma. Num primeiro momento, Mersenne lança mão de uma série de hipóteses e analogias para dar conta do movimento realizado pela corda. Em alguns momentos as analogias parecem-nos até mesmo bizarras. Contudo, o autor resolve as dificuldades que se apresentam apelando justamente para as armas utilizadas no combate àqueles que colocavam em risco a fé e a ciência, a saber: os defensores da filosofia naturalista, cabala, astrologia, alquimia e demais práticas ocultistas<sup>(4)</sup>. Isso nos mostra, por um lado, o papel que desempenham razão e experiência. Entretanto, é possível perceber que o processo através do qual Mersenne obtém seus resultados nem sempre é muito tranquilo. As voltas que o seu pensamento teve que realizar parecem-me estar presentes no relato apresentado na segunda proposição do terceiro livro.

A partir do resultado obtido no final da primeira parte da segunda proposição, Mersenne conjectura a resposta para o segundo problema proposto no enunciado da mesma:

“De onde nós podemos conjeturar a resposta da segunda parte desta Proposição, a saber: que as voltas diminuem na mesma proporção que as violências (...).” (Mersenne 2, Livro III, p.162)

Isto significa que a diminuição das voltas realizadas pela corda depende da força que se emprega na mesma, seja ela considerada como a força que estica a corda a partir de suas extremida-

des ou aquela que a estica até um determinado ponto a partir do qual ela inicia o seu movimento.

Resolvido o segundo problema, Mersenne finaliza a segunda proposição retomando a dependência entre experiência e razão:

“(...) de sorte que é sempre necessário que a razão suplemente algo nas experiências, que sozinhas não podem servir de princípios para as ciências, que desejam uma perfeita justeza, que os sentidos não podem demarcar (...).” (Mersenne 2, Livro III, p.162)

A terceira proposição possui dois objetivos: o primeiro é saber se as cordas repousam em seus pontos de reflexão; o segundo consiste em explicar a razão dessas reflexões.

O primeiro problema não é resolvido pelo autor. Mersenne dedica a primeira parte da proposição ao exame do problema proposto, todavia o que se observa é muito mais o levantamento das dificuldades envolvidas com o problema do que a indicação de uma possível solução para o mesmo. Não me parece oportuno detalhar a exposição em questão; a meu ver dois pontos são suficientes para ilustrar o problema que se coloca. Inicialmente Mersenne considera duas dificuldades. A primeira consiste em mostrar que os sentidos podem enganar-se quando acreditamos que um corpo lançado perpendicularmente repousa quando a força que o impulsiona está em equilíbrio com a força que o obriga a dirigir-se ao centro da Terra. A segunda explora o fato de que dois movimentos contrários não podem ser contínuos. Como se vê, cada uma dessas dificuldades apontam para a rejeição ou aceitação do problema inicialmente colocado, a saber, se as cordas repousam em seus pontos de reflexão. No primeiro caso, o repouso é encarado como um mero engano dos sentidos. No segundo, há uma clara indicação de que o repouso é necessário quando tratamos com movimentos contrários — caso ao qual pertence o movimento de uma corda.

Visto que não existe um argumento suficientemente forte que possa decidir a questão, Mersenne deixa o problema em aber-

to e passa para a segunda parte da proposição: saber qual é a causa das reflexões das cordas.

“Mas visto que eu não vejo qualquer razão bastante forte para demonstrar se ela repousa em suas reflexões, eu passo à segunda parte da Proposição, que consiste na causa dessas reflexões, pois é evidente que a corda retorna várias vezes a seu centro E, quer ela repouse no ponto da reflexão, ou que ela se mova continuamente. É ainda certo que a causa desta reflexão está na corda, visto que o ar exterior não pode ter esta força, já que ele mesmo repousa, quando abandonamos a corda em C: ora sabe-se que as partes da corda estendem-se, e abrem provavelmente seus poros, quando a esticamos até C, e que essas partes contraem-se, e tornam a fechar seus poros quando ela volta até E, mas não se sabe o que os obriga a se fechar novamente, pois se se afirma que esse retorno das partes se faz pela força do ar interno que está condensado pela tração, e que retorna à sua consistência natural, forçando as partes a retornar às suas, encontramos a mesma dificuldade para saber o que obriga este ar interno a abandonar sua condensação, e a se rarefazer; e o espírito não pode permanecer contente, se ele não encontra qualquer elasticidade natural na corda que aja perpetuamente, quer nós admitamos um movimento perpétuo dos átomos que compõem suas partes, e que se movem sempre em direção a E, ou que se suponha qualquer outra espécie de elasticidade que se queira, na qual encontrar-se-á a mesma dificuldade se se supõe apenas que exista nele o princípio do movimento: e quando tenhamos considerado todos os princípios de cada movimento, e que se deseje saber o que os determina preferencialmente a um tipo de movimento do que a vários outros, nós seremos forçados a recorrer ao primeiro Autor independente, que determina todos os princípios como lhe apraz, e àquilo que lhe apraz.” (Mersenne 2, Livro III, p.164-65)

Como é possível observar através da passagem transcrita acima, Mersenne reconhece a necessidade de supor a existência de uma elasticidade natural que determina a reflexão da corda em determinados pontos. Todavia, parece-me que ele não estabelece

claramente uma causa para o fenômeno. No final das contas, Mersenne se vê obrigado a recorrer à ação de Deus como responsável pela ordem que governa os fenômenos naturais. Isto nos indica uma característica bastante peculiar do autor: Mersenne não pretende determinar as causas últimas dos fenômenos naturais, conhecimento reservado ao supremo criador do universo. Nesta medida, ele reconhece os limites do conhecimento humano e, conseqüentemente, da ciência de seu tempo.

A quarta proposição procura explicar porque a corda passa diversas vezes por seu centro. Segundo Mersenne, o motivo é o ar exterior que impede a corda de realizar um movimento perpétuo.

Inicialmente Mersenne estabelece a situação que se deve explicar. Segundo o autor, procura-se uma “razão bastante obscura de um efeito muito evidente”. Ora, supondo que uma corda AB, cujo centro é E, seja esticada até C, parece que o movimento que ela realiza a partir deste ponto não tem outra função senão restituir a corda ao seu estado de equilíbrio AEB. Contudo, observa-se que a corda passa diversas vezes por seu centro, ou sua linha de equilíbrio AEB sem deter-se. Se o objetivo não parece ser outro senão retornar ao seu estado de equilíbrio, por que a corda realiza esse tipo de movimento? Mersenne responde essa dificuldade chamando a atenção para a influência do ar exterior. De acordo com o autor, é o ar exterior que faz a corda passar várias vezes por seu centro. Nessa medida, o ar exterior a impele a ultrapassar o seu ponto de equilíbrio.

A quinta proposição tem dois objetivos: determinar a duração de cada ida e volta da corda e quantas vibrações ela faz até entrar em repouso.

Inicialmente Mersenne considera que a maior volta da corda dura tanto quanto a menor, como atesta a experiência:

“É certo que a maior volta da corda não dura mais do que a menor, se se acredita na experiência que se faz, pois se ela emprega um segundo para fazer sua volta de C até D, ela emprega também um

segundo para fazer sua volta de F até E, ou de outro ponto que posamos tomar entre E e F até D (...)” (Mersenne 2, Livro III, p.166)

Ao que parece, Mersenne não vê qualquer necessidade de demonstrar aquilo que ele observa através da experiência. Parece-me que é neste sentido que podemos entender algumas afirmações que o autor faz após sustentar a igualdade da duração das idas e voltas de uma corda. O que ele procura enfatizar é que determinadas questões não podem ser resolvidas senão através da evidência presente na experiência, sem que seja necessário fornecer uma demonstração que a fundamente. Nesse sentido, a experiência falaria por si mesma. Essa postura torna-se clara na seguinte passagem:

“(...) o que eu desejo que se observe atentamente de uma vez por todas, para que não se acredite que eu uso sempre da palavra *demonstrar*, ou *demonstração* em um sentido Matemático; isto que aqueles concluirão facilmente que sabendo a dificuldade que se encontra para demonstrar qualquer coisa na Física, na qual é muito difícil colocar outras máximas mais vantajosas do que as experiências bem determinadas e bem feitas, que mostram perpetuamente que cada ida e volta da corda tendida, e presa em suas duas extremidades, como é aquela de uma viola, ou de um outro instrumento, dura tanto uma quanto a outra: de sorte que a diferença da duração da menor e da maior não é sensível” (Mersenne 2, Livro III, p.167)

A passagem transcrita acima revela dois aspectos importantes da ciência empreendida por Mersenne e alguns de seus contemporâneos: a importância da experiência e a natureza da Física. Há entre esses dois aspectos uma clara dependência: a Física não possui o mesmo grau de demonstrabilidade da matemática, nessa medida, o experimento desempenha um papel fundamental: ele apresenta-se como um dos principais recursos para o estabelecimento das leis que governam os fenômenos naturais. Desse modo, Mersenne não parece encontrar um recurso mais adequado ao caso

em questão. Com efeito, verifica-se, assim indica o autor, que a duração entre as idas e voltas de uma corda é sempre a mesma. Estabelecida a igualdade da duração entre a maior e a menor volta de uma corda, Mersenne passa ao segundo tópico da proposição.

Mersenne não fornece uma resposta clara à questão apontada no enunciado desta proposição. Inicialmente ele afirma que o número de vibrações que a corda produz é certamente muito grande. Após algumas considerações, às quais voltaremos em seguida, Mersenne diz que uma corda de Alaúde faz em torno de 132 vibrações.<sup>(5)</sup> A meu ver, embora Mersenne não nos forneça uma resposta clara ao problema proposto, encontramos na segunda parte dessa proposição alguns elementos interessantes. Em primeiro lugar, é importante notar que ele reconhece que uma corda continua vibrando durante algum tempo depois que nós deixamos de ouvir o som produzido por ela. Outro aspecto interessante diz respeito à sutileza do ouvido. Segundo Mersenne, o ouvido é extremamente sutil na medida em que ele pode determinar movimentos muito pequenos; desse modo, e sob esse ponto de vista, o ouvido ultrapassa a sutileza do olho. Este aspecto nos remete às proposições seguintes nas quais ele compara a sutileza dos dois órgãos. Finalmente, o corolário da proposição apresenta uma imagem bastante interessante: se tudo o que há no mundo se movesse de modo semelhante às derradeiras vibrações de uma corda, nós não seríamos capazes de notar qualquer coisa que nos indicasse esse movimento; assim, é possível que haja uma perfeita harmonia no mundo ainda que nenhum de nós possa detectá-la. Isto posto, Mersenne reafirma os limites do conhecimento humano e de nossos sentidos.

Antes de iniciar a análise da sexta proposição, é preciso chamar a atenção para a advertência que Mersenne faz no final da quinta proposição. Ele pretendia introduzir entre as duas proposições um Tratado de Mecânica de Roberval, então professor de Mecânica do *College Royal de France*. Contudo, no início da proposição ele argumenta que o tratado é maior do que ele havia ima-

ginado e, portanto, ele reservará um livro particular para a apresentação do mesmo.<sup>(6)</sup>

O enunciado da sexta proposição apresenta dois objetivos: explicar como contar facilmente as idas e voltas de uma corda e onde termina a sutileza do olho e do ouvido.

O procedimento apresentado por Mersenne para a contagem das idas e voltas de uma corda leva em conta o tom da Capela (*Chappelle*) que, segundo ele, soa “sol, ré, sol”. Tal procedimento parece inicialmente um pouco confuso. Em primeiro lugar ele diz que é necessário tomar uma corda e fazê-la soar o mesmo tom emitido pela Capela, isto é, deixar a corda em uníssono com aquele tom. Isto posto, diz Mersenne, a corda vibrará 168 vezes por minuto, ou seja, ela passará por seu centro 168 vezes no período de um minuto. Ora, o que Mersenne não nos explica nesse momento é justamente como ele obteve esse número. É evidente que se o som produzido pela Capela vibra o ar 168 vezes por minuto, uma corda disposta em uníssono com ele também vibrará o ar 168 vezes. Todavia, como se chega ao primeiro resultado? Como se sabe que o som produzido pela Capela bate 168 vezes o ar? Após estabelecer esse número, Mersenne parece fornecer ao leitor o caminho que o levou a este número:

“Em segundo lugar, que uma corda longa de dezessete pés e meio é suficiente para fazer a experiência, visto que ela não vibrará muito rápido, e que ela deixa contar suas voltas (...)” (Mersenne 2, Livro III, p. 169)

O que fica claro, portanto, é que o experimento deverá ser feito com uma corda com o comprimento designado pelo autor pois, neste caso, é possível contar o número de vibrações da mesma. Dito isto, o autor aponta algumas relações entre o número de vibrações de uma corda e a força que a retesa. Essas observações levam Mersenne à seguinte conclusão:

“De onde é preciso concluir que as vibrações estão na razão subdupla dos pesos, ou das forças que retesam a corda, e conseqüentemente que as forças estão na razão duplicada dos batimentos do ar, ou das vibrações da corda: por este motivo não é suficiente esticar uma corda duas vezes mais para fazê-la mover-se duas vezes mais rápido, mas é preciso esticá-la quatro vezes mais forte.” (Mersenne 2, Livro III, p.169)

Como é possível perceber através da passagem transcrita acima, embora a exposição de Mersenne nos pareça inicialmente confusa, ele chega a uma conseqüência fundamental: a lei que rege a relação entre o número de vibrações de uma corda e a força que a tensiona. O que é interessante perceber nessa passagem é justamente a relação que ela guarda com respeito à manipulação do comprimento da corda tendo em vista a mesma finalidade em jogo neste momento. Ora, a fim de fazer com que uma corda vibre duas vezes mais do que ela vibra é preciso (mantendo-se inalteradas as duas outras variantes, a saber: tensão e espessura) fazer vibrar apenas metade da corda. Como se vê no final da passagem, o mesmo procedimento não pode ser aplicado quando se trata de alterar a força que retesa a corda. Neste caso, não é suficiente duplicar a força, mas é necessário quadruplicá-la.

Exposta a lei que regula a relação entre o número de vibrações de uma corda e a força que a tensiona, Mersenne passa para a segunda parte da proposição.<sup>(7)</sup>

Mersenne inicia a segunda parte da proposição afirmando que ela é muito mais difícil do que a primeira. A meu ver esse caráter está relacionado com os limites da percepção e do conhecimento humano.

“Pois as extremidades e o começo das ações naturais nos são ordinariamente desconhecidas, e a maneira pela qual elas são produzidas ultrapassa o espírito humano, o que é suficiente de se mostrar no movimento do qual nós falamos aqui, que é freqüentemente muito rápido, ou muito lento para ser percebido: ora, é certo que o ou-

vido não percebe vários movimentos que o olho revela, o que nós experimentamos no movimento da corda de dezessete pés de comprimento, da qual o ouvido não pode observar as vibrações que o olho vê muito bem, visto que eles não ferem o ar muito forte, ou tão freqüente para produzir um ruído sensível, ou que ele não é contido e refletido por um instrumento, como ocorre com o sentido do tato que não percebe vários calores antes da reflexão.” (Mersenne 2, Livro III, p.170)

Apresentado o problema que está na base da questão que Mersenne pretende desenvolver na segunda parte da proposição, o autor procura mostrar que o movimento produzido por uma corda não pode ser igualmente percebido pelo olho e pelo ouvido. Segundo Mersenne, o olho não é capaz de discernir o movimento de uma corda quando ela produz mais do que dez vibrações por segundo. O ouvido, pelo contrário, não é capaz de perceber o movimento de uma corda quando ela não bate o ar pelo menos vinte vezes por segundo, isto é, quando ela não vibra pelo menos vinte vezes por segundo.

A meu ver existem alguns pontos fundamentais nesta proposição. Em primeiro lugar, a determinação dos limites perceptivos do olho e do ouvido está intimamente relacionada com o método apresentado na primeira parte da proposição: pretender contar o número de vibrações que uma corda produz em um minuto. Nessa medida, é preciso pensar sobre os limites da percepção humana. Exatamente por esse motivo, conclui-se, em segundo lugar, que a Física não possui o mesmo grau de precisão que a Matemática - idéia defendida já nos tratados de 1634<sup>(8)</sup> e que parece estar presente aqui. Com efeito, dados os limites dos sentidos e a incapacidade humana de determinar as causas últimas dos fenômenos naturais, a Física não possui o mesmo grau de exatidão da Matemática. Finalmente, o corolário da proposição nos lembra mais uma vez certos traços da postura mersenniana. Segundo ele, não é preciso que se siga à risca o método proposto na sexta proposição do terceiro livro. Contudo, é preciso que os re-

sultados sejam os mesmos, ou seja, é preciso que o número de vibrações associado a um determinado som seja o mesmo. Isto significa, entre outras coisas, que existem determinadas regularidades naturais que podem ser inequivocamente determinadas, ainda que os procedimentos utilizados para se chegar a elas sejam diferentes. Em princípio, isto pode parecer contraditório com a idéia de que o homem não pode determinar as causas últimas dos fenômenos naturais. Todavia, isso é uma impressão equivocada. Não se trata em nenhum momento de determinar causas últimas, mas de alcançar através da experiência e da razão as regularidades que determinam os fenômenos estudados.

A sétima proposição tem por objetivo determinar em que momento e em que lugar das idas e voltas da corda o som é produzido e, além disso, se ele é mais agudo no começo das vibrações ou no fim.

Mersenne diz inicialmente que os dois pontos referidos no enunciado da proposição apresentam-se como duas grandes dificuldades visto que não é possível submetê-los tranquilamente a um tratamento experimental e, por outro lado, porque a razão parece opor-se ao que determina a experiência. Contudo, a fim de responder aos problemas em questão, Mersenne afirma que o som não é produzido pela primeira volta que a corda realiza, mas pelo encontro de dois movimentos contrários: o movimento de C até E e de D até C.

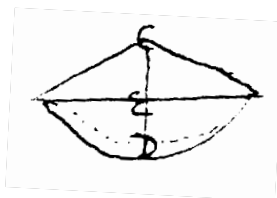


Figura 3. *Harmonie Universelle*. p. 171

Isso não significa que o movimento de C até E não produza som de modo algum. O que Mersenne pretende mostrar é que o som produzido neste momento não é perceptível ao ouvido humano — o que nos remete à discussão feita na segunda parte da sexta proposição deste livro. Parece-me que é precisamente neste sentido que Mersenne fala em “silvo” ou “assovio” de ar. Isto significa que o primeiro movimento da corda, a saber, de C até E, produz algum som, contudo, esse som não é suficientemente forte para ser percebido pelo ouvido. Segundo o autor, o som que nos interessa aqui diz respeito a um certo grau de grave ou agudo que seja perceptível ao ouvido humano.

A solução para a segunda parte da proposição converte-se na verdade na reafirmação da relação entre o número de vibrações produzido por uma corda e o som resultante de seu movimento: quanto maior for o número de voltas ou vibrações produzido por ela, mais agudo será o som resultante.

A oitava proposição é dedicada ao exame dos diferentes centros e das diferentes forças de cada volta realizada pela corda. A meu ver, os resultados obtidos nesse momento não são tão interessantes quanto outros aos quais Mersenne chega. Nessa medida, parece que é suficiente um rápido comentário sobre ela. Embora a figura abaixo pareça inicialmente complexa, ela indica basicamente o centro de cada uma das voltas da corda AEB. Tomando a corda AEB e o movimento realizado por ela, Mersenne detecta diversos centros, cada um deles relacionado com diferentes amplitudes da vibração que ela realiza. Assim, o arco ACB possui como centro o ponto K; o arco AFB o ponto M, e assim por diante. Desse modo, quanto mais próximo estiver o arco da linha AEB, mais distante estará o seu centro. Com respeito à força, Mersenne conclui que ela diminui à medida que a corda está mais próxima da posição AEB.

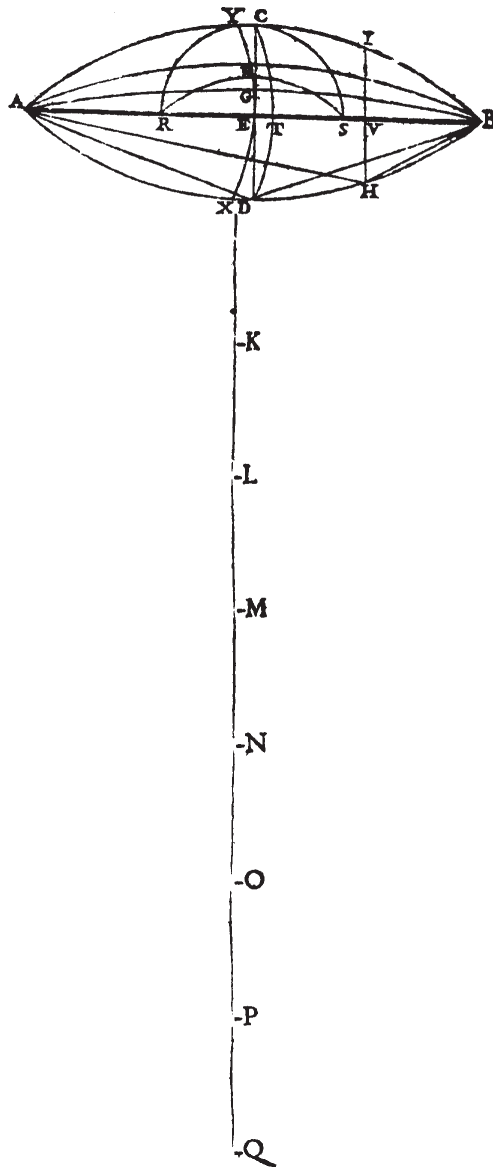


Figura 4. *Harmonie Universelle*. p. 173

Na nona proposição Mersenne procura determinar todas as razões existentes entre o comprimento dos corpos e seus sons. Diferentemente da proposição anterior, esta apresenta resultados extremamente relevantes com respeito ao estudo das cordas vibrantes.

Mersenne inicia a proposição chamando a atenção para a relação entre comprimento e som produzido: quanto maior a corda, mais grave será o som produzido por ela. A fim de ilustrar um pouco melhor essa situação, Mersenne toma duas cordas cuja relação é a mesma existente entre a diagonal do quadrado e o seu lado (caso análogo àquele imaginado por Galileu no final da primeira jornada dos *Discorsi*). Neste caso, assim como as cordas, os sons serão incomensuráveis. Contudo, como dito anteriormente, a relação apresentada aqui depende da igualdade da tensão e da espessura das cordas; é preciso, portanto, que as cordas estejam sujeitas à mesma tensão e tenham a mesma espessura. Neste caso, encontraremos a relação estipulada por Mersenne no final da seguinte passagem:

“É certo que uma corda igualmente tendida sobre um Alaúde, ou sobre um outro instrumento, faz um som tanto mais grave quanto mais longa ela for, e mais agudo quanto mais curta ela for, porque ela tem idas e voltas mais tardias, ou mais rápidas; de modo que se de duas cordas iguais, uma é igual ao diâmetro, e a outra ao lado do quadrado, ter-se-á dois sons na mesma razão que as cordas, e conseqüentemente eles serão incomensuráveis. Ora, isto será sempre verdadeiro qualquer que seja o comprimento que se dê às cordas, de modo que se uma é cem vezes mais longa do que a outra, ela fará um som cem vezes mais grave; o que é preciso entender de duas cordas iguais em espessura, e em tensão: e conseqüentemente os sons das cordas têm a mesma razão entre si que os comprimentos das referidas cordas.” (Mersenne 2, Livro III, p.174)

A passagem transcrita acima comprova, portanto, as considerações apontadas anteriormente e, além disso, apresenta a rela-

ção entre comprimento e som produzido: os sons produzidos por duas cordas mantêm entre si a mesma razão que as cordas que os produzem. Nessa medida, se a relação entre duas cordas é de um para dois (1:2), então o som produzido por elas será uma oitava, tradicionalmente representada pela razão 1:2. Todavia, a exposição feita até esse momento não é suficiente para dar conta de todas as relações existentes entre as cordas. Em princípio, parece-nos que Mersenne discutirá apenas as relações inerentes a cordas de diferentes comprimentos. O que se segue é muito mais do que isto. Com efeito, ele apresenta ainda no primeiro parágrafo da proposição as relações entre duas cordas de mesmo comprimento e tensão, mas diferentes quanto à espessura.

“Mas se elas são diferentes em espessura, e se as considerarmos como cilindros de mesma altura, cujas bases são desiguais, é certo que a razão de suas bases deve estar na razão duplicada de seus sons, pois todas as experiências mostram que o diâmetro da base da corda, que produz a Oitava abaixo contra uma outra corda de igual comprimento e tensão, é o dobro do diâmetro da base desta corda mais delicada. De onde se segue que a corda grossa contém quatro vezes a menor, visto que os cilindros de mesma altura estão entre si como suas bases, pois a base da mais grossa é o quádruplo daquele da mais delicada, porque as bases estão na razão duplicada dos diâmetros.”  
(Mersenne 2, Livro III, p.174)

Ora, a relação estabelecida aqui dá conta de outra variante importante na relação entre duas cordas: a espessura. Neste caso, é preciso considerar que as duas outras variantes permanecem inalteradas, a saber: o comprimento e a tensão. Nessa situação, segue-se a relação apresentada na passagem transcrita acima. Suponha-se duas cordas de mesmo comprimento e mesma tensão e, entretanto, diferentes quanto à espessura. Suponha-se ainda que a diferença entre elas seja tal que o diâmetro de uma é o dobro do diâmetro da outra. Ora, o que Mersenne afirma é que as bases das cordas estarão entre si na razão duplicada do som produzido por

elas. O que observamos é que Mersenne utiliza o intervalo de oitava e, através da experiência, chega à conclusão que a relação entre os diâmetros é a mesma existente entre os sons produzidos. Contudo, o que interessa aqui não é propriamente determinar a razão existente entre os diâmetros, mas a razão que expressa a relação entre as espessuras. Ora, como se trata de cilindros de mesma altura, a razão entre eles será a mesma existente entre suas bases. Visto que as bases estão na razão duplicada de seus diâmetros, segue-se que os cilindros terão entre si a mesma razão existente entre suas bases, a saber: 1:4. Portanto, a razão entre cordas de mesmo comprimento e espessura diferente (segundo caso) e aquela existente entre cordas de mesma espessura e comprimento diferente não é a mesma (lembre-se que nos dois casos a tensão é a mesma). Isto alarga o horizonte do estudo das relações entre sons produzidos por cordas diferentes. Como se sabe, o som resultante de uma corda depende de três fatores: comprimento, espessura e tensão. O que observamos na nova proposição do terceiro livro é justamente o estudo de duas dessas variantes.

Após estabelecer essas relações, Mersenne faz mais algumas observações gerais. Em primeiro lugar, ele lembra que tensão deve ser entendida como força e não como violência empregada na corda. Nesse sentido, a tensão é a força que retesa a corda. Além disso, ele diz que as relações traçadas na proposição servem para ajustar todo instrumento de corda. Finalmente, ele afirma que as relações presentes nas cordas não podem ser igualmente aplicadas aos cilindros (entenda-se nesse caso os instrumentos de sopro, por exemplo).

Como dito anteriormente, as nove primeiras proposições do terceiro livro formam um bloco inteiramente dedicado ao estudo das cordas vibrantes. Contudo, embora esse bloco nos forneça um bom panorama do trabalho de Mersenne com respeito ao tema em questão, acredito que o exame de alguns aspectos presentes na décima quarta proposição nos forneça alguns elementos adicionais.

A proposição em questão tem o seguinte enunciado:

“Pode-se saber o comprimento das cordas e a diferença de seus sons, pela diferença dos pesos sustentados pelas ditas cordas, e a diferença dos pesos que são suspensos pelas cordas, pela diferença dos sons, e pelo comprimento das cordas.” (Mersenne 2, Livro III, p.184)

Meu objetivo não consiste em analisar passo a passo os resultados presentes nessa proposição, mas obter um elemento fundamental para o fechamento das relações discutidas na nona proposição. Naquele momento, como vimos, Mersenne leva em conta a diferença entre o comprimento e a espessura de duas cordas. Ora, o que faltava levar em conta é justamente a tensão à qual a corda está sujeita. É precisamente isto que me parece estar presente na décima quarta proposição. A meu ver, isto fica claro quando tomamos a tese enunciada no terceiro parágrafo desta proposição:

“Eu afirmo portanto que a razão de cada intervalo de Música sendo duplicado fornece o peso, por meio do qual a corda estando tensionada faz o som que se deseja.” (Mersenne 2, Livro III, p.184)

Ora, a passagem acima nos fornece o meio através do qual é possível descobrir a relação entre as tensões de duas cordas de mesmo comprimento e espessura, cujo som resultante não é o mesmo. A regra básica é, portanto, duplicar a razão do intervalo e tomar a razão resultante como aquela que expressa a relação entre os pesos, isto é, entre a tensão de cada uma das cordas. É importante notar que é o peso sustentado pela corda que determina a tensão à qual ela está submetida. Assim, tomando o intervalo de oitava, cuja razão é 1:2, é preciso duplicá-la a fim de encontrar o peso que determinará a tensão que fará com que duas cordas de mesmo comprimento e espessura produzam o intervalo em questão. Deste modo, é preciso que o peso associado a uma delas seja quatro vezes maior do que aquele associado a outra corda. Assim, fi-

cam estabelecidas as relações entre duas cordas tendo em vista diferenças quanto ao comprimento, espessura e tensão.

As nove primeiras proposições juntamente com alguns aspectos presentes na décima quarta proposição do terceiro livro do *Harmonie Universelle* fornecem os elementos fundamentais do estudo das cordas vibrantes de Mersenne. Acredito que o caminho percorrido até aqui nos mostra que o autor procura desenvolver uma análise do fenômeno em questão apelando basicamente para os pilares da metodologia que fundamenta a sua prática científica, a saber: a experiência e a razão. Nessa perspectiva, é importante notar o papel desempenhado pela matemática: ela fornece em alguns momentos o rigor e a precisão necessária para o desenvolvimento do estudo do som. Como vimos, as diferenças sonoras acabam sendo reduzidas a um conjunto de razões.

Através desse panorama geral podemos notar que o estudo do som converte-se em uma análise mais fina de um dos meios pelos quais o som pode ser gerado: a vibração de uma corda. Os resultados apresentados por Mersenne procuram explicitar três aspectos do fenômeno: i) como a vibração ocorre; ii) os problemas decorrentes do sentido diretamente relacionado com o fenômeno em questão, a saber, a audição; iii) as relações numéricas decorrentes da manipulação das três variantes presentes na relação entre duas cordas: comprimento, espessura e tensão.

Acredito que essa breve exposição de algumas proposições do terceiro livro do *Harmonie Universelle* possibilite uma visão razoável, ainda que parcial, da teoria da vibração das cordas em Mersenne. Além disso, é possível detectar ainda determinadas características do perfil filosófico e metodológico do autor, tais como a utilização da experiência e da matemática. Todavia, diferentemente de outros filósofos e cientistas de seu tempo, Mersenne não acredita que possamos encontrar as causas últimas dos diversos fenômenos naturais. Nesse sentido, a ciência empreendida pelo autor configura-se, em muitos momentos, como uma descrição acurada dos fenômenos naturais. O que, a meu ver, é bastante evidente em seu estudo sobre as cordas vibrantes.

## Notas

- (1) Para uma discussão mais profunda sobre a metodologia mersenniana veja-se principalmente LENOBLE, 1, 1943.
- (2) Mersenne diz neste momento que a proposição 17 do primeiro livro dos instrumentos contém uma tabela das diminuições de cada ida e volta da corda. Embora o autor faça tal indicação, não pretendo discutir proposições que não pertençam ao terceiro livro, exceto aquelas que venham a esclarecer pontos fundamentais da teoria da vibração das cordas, o que não me parece ser o caso aqui.
- (3) O discurso da queda dos corpos pesados ao qual Mersenne se refere é provavelmente o segundo livro do *Harmonie Universelle*.
- (4) Para uma discussão mais detalhada da crítica de Mersenne às pseudociências veja-se LENOBLE, 1, 1943.
- (5) Para uma abordagem mais completa desse problema veja-se a proposição 17 do primeiro livro dos instrumentos.
- (6) Não é meu objetivo analisar o referido Tratado de Mecânica. Apenas como uma indicação àqueles que pretendam investigá-lo, o Tratado é apresentado depois do terceiro livro do *Harmonie Universelle*.
- (7) Mersenne indica no final da primeira parte desta proposição algumas outras onde o leitor poderá encontrar mais algumas observações sobre o assunto discutido neste momento. Elas são as seguintes: proposição 6 do primeiro livro dos instrumentos e proposições 7, 8, 12, 15, 16, 17 e 18 do terceiro livro dos instrumentos.
- (8) Os tratados em questão referem-se aos textos que compõem as *Questions Inouyes*, publicado pela editora Fayard em 1985.

## Referências Bibliográficas

1. LENOBLE, R. *Mersenne ou la Naissance du Mécanisme*. Paris, Librairie Philosophique J. Vrin, 1943.
2. MERSENNE, M. *Harmonie Universelle* (1636-37). Paris, CNRS, 1975.