introduzidos artificialmente (veja Fig. 3-2). Acordes podem ser transpostos mais para cima e mais para baixo para imitar sinos de freqüências diferentes; entretanto, a metade mais baixa do piano não é útil, porque os tons parciais das cordas do piano sendo harmônicos entram em conflito com os tons desejados do sino, que não são harmônicos. Em geral, pode-se fazer a síntese de tons musicais sòmente se são usados tons *simples* como elemento de construção; Helmholtz utilizou diapasões e D. C. Miller usou tubos de órgão fechados; em alguns órgãos elétricos produz-se movimentos harmônicos simples, elètricamente.

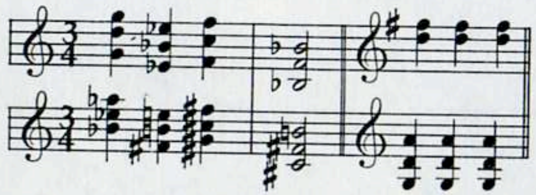


FIG. 3-2 — A batida dos sinos pode ser imitada no piano. São ilustrados dois tons diferentes de sinos. O papel do piano pode ser usado, se necessário.

3.7 Melodia e Escalas

Vamos considerar, agora, alguns fatôres físicos e psicológicos que são relacionados com a arte musical como um todo. A parte mais óbvia da música é a MELODIA, uma sucessão de tons de diferentes freqüências. Podia parecer, à primeira vista, que existia um arranjo infinito de freqüências de onde se escolhe as freqüências que formam uma melodia; o fato é que as melodias agradáveis são construídas de um arranjo finito de freqüências, conhecidas como ESCALA MUSICAL. É fato experimental que, uma melodia soa melhor se a razão da freqüência de qualquer tom, para a freqüência do tom imediatamente precedente é uma fração racional simples. Assim, um tom de freqüência 513 que segue um tom de freqüência 300, soa muito pior que um tom de freqüência 500 que segue um tom de 300 ciclos.

Fazendo uso dêste fato, apesar de ser obscura a razão para tal, podemos construir uma escala. A razão mais simples é 2:1, denominada uma OITAVA; e a escala deve dividir a oitava em um número de intervalos menores com razões simples. Um fato psicológico importante é que intervalos que parecem idênticos diferem da mesma *razão*. Assim, dois tons de freqüências 600 e 300, respectivamente, estão separados por uma oitava; dois tons de freqüências 700 e 350 estão separados pelo *mesmo* intervalo, a oitava, desde que $^{600}/_{300}$ $= {}^{700}/_{350} = {}^{2}/_{1}$. Portanto, serão comparados intervalos considerando razões em vez de tomar diferenças de freqüências; e quando *somamos* intervalos, *multiplicamos* as razões.

Assim, duas oitavas é um intervalo de $^{2}/_{1} \times {}^{2}/_{1} = {}^{4}/_{1}$. Com estas regras em mente, podemos definir uma ESCALA MUSICAL como "uma divisão da oitava em intervalos próprios para finalidades musicais."*

Tal escala é a de Ptolemeu†, também chamada escala "justa" ou "verdadeira" (Fig. 3-3). Se designarmos a freqüência da primeira nota da escala por "1" então a última nota deve ser a oitava, ou "2".

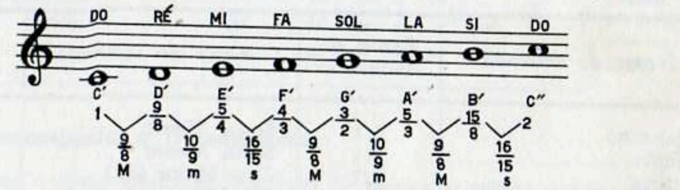


FIG. 3-3 — A escala verdadeira de Ptolemeu.

No teclado do piano a seqüência das notas brancas de C′ até C″ é aproximadamente nessas razões; as freqüências absolutas dessas notas cobrem um intervalo de 261,6 até 523,2 ciclos/s.

Notar-se-á que as várias freqüências permitidas da escala Ptolemaica fornecem razões bem simples com relação à primeira, ou TÔNICA, tom de freqüência arbitrária 1; as várias freqüências permitidas fornecem também muitas vêzes razões *simples entre si*. Assim $^{15}/_{8} \div {}^{5}/_{4} = {}^{3}/_{2}$; outra razão simples é $^{5}/_{3} \div {}^{4}/_{3} = {}^{5}/_{4}$ etc. Em particular, a razão de *cada freqüência para a imediatamente anterior*, na série é $^{9}/_{8}$, $^{10}/_{9}$, ou $^{16}/_{15}$.

3.8 Intervalos

Quando dois tons são tocados simultâneamente ou consecutivamente, diz-se que constituem um INTERVALO. Conforme a razão entre as freqüências, foram dados nomes aos intervalos simples, como se segue: os intervalos entre tons sucessivos da escala Ptolemaica são o TOM MAIOR, M (9:8); o TOM MENOR, m (10:9), ou o SEMITOM, s (16:15). Quando dizemos que a oitava é a soma de três tons maiores, dois tons menores e dois semitons, estamos estabele-

* John Redfield, "Music: a Science and Art" (New York: Alfred Knopf, 1928), p. 68.
† Floresceu por 130 D. C.

cendo simplesmente a identidade matemática que

$$^{9}/_{8} \times {}^{10}/_{9} \times {}^{16}/_{15} \times {}^{9}/_{8} \times {}^{10}/_{9} \times {}^{9}/_{8} \times {}^{16}/_{15} = {}^{2}/_{1},$$

ou, da Tabela 3-2.

$$M + m + s + M + m + M + s = \text{Oitava},$$

desde que *somamos* intervalos *multiplicando* as razões das freqüências.

TABELA 3-2

INTERVALOS MUSICAIS

Nome do intervalo	*Razão de freqüência*	*Nome do intervalo*	*Razão de freqüência*
Uníssono	1:1	Sexta Maior	5:3
Oitava	2:1	Sexta Menor	8:5
Quinta	3:2	Tom Maior (M)	9:8
Quarta	4:3	Tom Menor (m)	10:9
Terça Maior	5:4	Semitom (s)	16:15
Terça Menor	6:5		

3.9 Escalas Diatônicas e Modos

Apenas poucos ouvidos sensíveis são capazes de distinguir entre o tom maior e o tom menor.‡ A escala Ptolemaica, ou DIATÔNICA, é considerada, pois, como feita de cinco TONS INTEIROS (w) e dois SEMITONS (s). O arranjo particular dêstes sete intervalos, que conhecemos como a "escala de Dó" no piano, é *MmsMmMs*, ou aproximadamente *wwswwws*; devemos considerar mais tarde as razões principais de sobrevivência dêste arranjo, porque haviam ao todo, sete arranjos ou MODOS empregados comumente pelos gregos em suas melodias. Êstes modos foram adotados mais tarde, com algumas alterações, pela igreja Cristã primitiva; são conhecidos como "modos eclesiásticos". A seqüência *MmsMmMs* que estivemos discutindo era o MODO IÔNIO, e outros modos estão tabelados na Tabela 3-3. Todos podem ser tocados ao piano, começando na nota branca adequada e estendendo até a nota branca uma oitava acima; mais será dito posteriormente, com relação a êsses modos eclesiásticos e a razão por que os modos Iônios e Aeólio sobreviveram até nossos dias, como escalas maior e menor, respectivamente.

‡ Como sempre, comparando êsses intervalos por divisão, achamos que $^{9}/_{8} \div {}^{10}/_{9} = {}^{81}/_{80} = 1$, correto dentro de aproximadamente 1 por cento.

TABELA 3-3

MODOS

	C	D	E	F	G	A	B	C′	D′	E′	F′	G′	A′	B′	C′	
Iônio	*M*	*m*	*s*	*M*	*m*	*M*	*s*									← escala maior atual
Dorico		*m*	*s*	*M*	*m*	*M*	*s*	*M*								
Frígio			*s*	*M*	*m*	*M*	*s*	*M*	*m*							
Lídio				*M*	*m*	*M*	*s*	*M*	*m*	*s*						
Miscolidio					*m*	*M*	*s*	*M*	*m*	*s*	*M*					
Aeólio						*M*	*s*	*M*	*m*	*s*	*M*	*m*				← escala menor atual
Locrio							*s*	*M*	*m*	*s*	*M*	*m*	*M*	*s*		

3.10 Consonância e Dissonância

Seguimos o desenvolvimento histórico da música e evitamos mencionar a possibilidade de tocar dois ou mais tons simultâneamente. Na música moderna, desde aproximadamente 1300, reconhece-se que se duas freqüências estão nas razões simples (por exemplo, 3:2) elas soam agradáveis quando tocadas tanto simultânea como consecutivamente. Isto nos leva a definir CONSONÂNCIA HARMÔNICA e CONSONÂNCIA MELÓDICA como a justaposição temporal ou sobreposição dêsses tons cujas freqüências dão origem a razões simples. Tôdas as outras combinações, harmônicas (simultâneas) ou melódicas (consecutivas) são DISSONANTES.

Deve-se acentuar de início que as palavras "consonante" e "dissonante" têm significado sòmente em relação ao estado mental do ouvinte. O que são relações "simples" para nós, em vista de nossos conhecimentos musicais da infância, eram horríveis para Pitágoras e Ptolemeu, que admitiam sòmente a oitava (2:1), a quinta (3:2) e a quarta (4:3) na lista das consonâncias harmônicas. Atualmente, todos os intervalos da Tabela 3:2, com exceção dos semitons, são considerados como excelentes consonâncias harmônicas. A aceitação de uma consonância melódica sempre teve lugar mais cedo do que a aceitação do mesmo intervalo como consonância harmônica; os gregos usaram melòdicamente a terça maior e menor e compositores atuais usam tais intervalos melódicos, como 2:15, com efeito marcante.

Consideramos hoje, por exemplo, a tríade F′-A′-C″, , como a consonância mais perfeita. Êste grupo de várias notas, ou ACORDE, contém dentro dêle uma quinta (F′-C″), uma terça maior (F′-A′) e uma terça menor (A-C″). O leitor pode verificar que as freqüências da tríade C′-F′-A′, , estão na razão de 3:4:5 e que a tríade F′-A′-C″ tem freqüências na razão de 4:5:6. Naturalmente uma outra tríade é A-C′-F′. Estas são INVERSÕES do mesmo acorde, o de F maior, desde que uma pode ser derivada de outra por uma mudança de uma oitava (3:4:5 é equivalente a 6:4:5, desde que 3 e 6 diferem por um fator de 2 ou uma oitava). É óbvio, depois de pequena consideração, que a tríade maior 4:5:6 e suas inversões representam a combinação de três tons *dentro da oitava* que tem as razões de freqüência mais simples; portanto a consonância é boa. O ponto a considerar é que os gregos, que não admitiam a consonância de terça (4:5 e 5:6) tiveram que se arranjar sem a tríade maior.

Êles foram incapazes de formar um teoria de HARMONIA, desde que tal teoria e prática lidavam com relações entre vários acordes e desde que os próprios acordes essenciais faltavam na música primitiva.* A história musical é

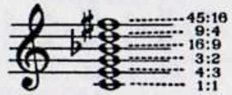


FIG. 3-4 — A décima primeira aumentada, usada por Gershwin em "Rhapsody in Blue". Entre as razões incluídas neste acorde estão: 15:8 (G'F♯''); 16:9 (C'-B♭'); 9:4 (C'-D''); 45:16 (C'-F♯'); e 405:256 (B♭'-F♯'').

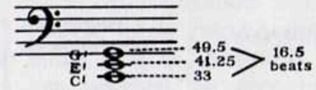
totalmente ligada, em sua expansão, ao esfôrço enorme que teve lugar (1300 — 1600 D.C.) para a admissão das têrças maior e menor à lista de consonâncias; desde 1600, a música desenvolveu-se segundo linhas harmônicas em vez das linhas melódicas; como resultado, hoje, o acorde decimo primeiro aumentado, é comum no jazz. Dissonâncias de Stravinsky, Sibelius e outros compositores modernos são muito mais complexas. Ou serão elas realmente consonâncias para aquêles de outras origens? Os ambientes musicais não são retroativos e a geração presente nunca poderá saber isso.

3.11 As Bases Físicas da Consonância

O fato dos tons musicais terem geralmente uma série de harmônicos com freqüências duas, três, quatro, etc. vêzes a da fundamental, dá uma indicação do fenômeno da consonância harmônica. Em resumo, ocorre dissonância entre dois tons que soam juntos, se se forma uma freqüência de batimento entre 10 e 50 por segundo, pelos próprios tons *ou por qualquer par de tons parciais* contidos nos tons complexos originais. Esta hipótese é confirmada pelo fato de que não ocorre dissonância marcante em tubos fechados de órgão cujos tons são quase puros e não contêm harmônicos. Notas separadas por uma oitava e um semitom, que são bem dissonantes no piano, não soam nada mal em tais tubos, presumìvelmente por causa da falta, nesses tons mais puros, de harmônicos que possam produzir batimento. Os valôres 10-50 por segundo são sòmente aproximados e dependem da pessoa e da altura; a dissonância é mais aguda perto do meio do teclado se são produzidos batimentos de aproximadamente 30/s. Isto nos permite predizer um efeito interessante, isto é, o

* A música grega consistia sòmente de melodia, algumas vêzes duplicada, no intervalo de uma oitava. É provável que a melodia ocasionalmente pudesse ser "organizada" também em intervalos de uma quinta, mas isto impunha restrições nas melodias que pareciam isuperáveis. A iniciativa de admitir outros intervalos na lista de consonâncias parece não ter sido sugerida até cêrca de 900 D. C.

decréscimo dos "intervalos mais dissonantes", à medida que a altura aumenta. Assim, tons de piano de freqüências B e C' (495 e 528) estão separados por um semitom e produzem uma dissonância muito desagradável entre os fundamentais, dando uma freqüência de batimento de 33/s. Quatro oitavas abaixo, as freqüências são $2^{-4} = {}^{1}/_{16}$ do seu valor anterior; a diferença entre 31 e 33 ciclos/s é agora sòmente 2 batimentos/s (isto poderia ser obtido também diretamente dividindo a freqüência do batimento anterior por 16); e se não fôsse pelos harmônicos que se destacam nas cordas graves do piano, o semitom B''-C' não seria particularmente dissonante. O intervalo mais dissonante medido acima de B''' = 31 ciclos/s seria aquêle entre B'' (31) e aproximadamente F' (44), ou 13 batimentos/s. Êstes efeitos são, numa certa medida, mascarados pelos batimentos produzidos pelos harmônicos, mas é fato bem conhecido que mesmo a tríade maior soa dissonante quando tocada em uma altura baixa:



Apesar das freqüências estarem na relação simples de 4:5:6, produzem-se batimentos que estão no intervalo dissonante de 10-40 batimentos/s.

A consonância é, portanto, interpretada psicològicamente como uma falta de dissonância; isto é o reverso da definição analítica e mostra que nosso raciocínio sôbre êste assunto percorreu um longo caminho das experiências fisiológicas e psicológicas sôbre as quais se baseia nosso conhecimento; afinal de contas, não é a música, em última análise, um fenômeno do ouvido interno e do cérebro? Seria desejável, mas pouco prático, considerar os sons musicais diretamente do ponto de vista biológico; infelizmente o conhecimento atual do mecanismo do processo auditivo receptor está num estágio rudimentar comparado, por exemplo, com nosso conhecimento do processo foto-receptor. Entretanto, é interessante ver o que pode ser coletado da opinião dos fisiologistas, mas, limites de espaço não nos possibilitam a apresentação neste volume.

Usaremos o restante dêste capítulo com matéria de importância para aquêles que procuram entender a natureza da música e as considerações físicas que influenciaram e ainda influenciam o curso da história da música.

3.12 Méritos Relativos de Várias Escalas

A Tabela 3-4 dá uma análise da escala Ptolemaica que foi ilustrada na Fig. 3-3. Estendendo a escala na oitava superior quando necessário, podemos determinar as razões da freqüência de todos os 29 intervalos mais largos que um tom inteiro e menores que uma sétima na escala. Dos 29 intervalos possíveis, 23 são perfeitos e podem ser formados por razões simples. Os quatro intervalos "Dóricos" estão muito próximos a outros intervalos que são perfeitos, e sòmente os trítonos não estão nem em razão simples, nem perto de outros intervalos que podem ser assim expressos. A superioridade da escala verdadeira é assim aparente — um número relativamente grande de consonâncias pode-se formar usando notas pertencentes à seqüência.*

TABELA 3-4

CONSONÂNCIAS E DISSONÂNCIAS DA ESCALA PTOLEMAICA

1 $^9/_8$ $^5/_4$ $^4/_3$ $^3/_2$ $^5/_3$ $^{15}/_8$ 2
C D E F G A B C′ D′ E F′ G′ A′ B′ C″, etc.
M m s M m M s M m s M m M s, etc.

Razão decimal	*Intervalo*	*Composição do Intervalo*	*Razão da Freqüência*	*Tons usados (na Escala Ptolemaica baseado no C como Tônica).*
2,0000	Oitava	$3M + 2m + 2s$	2:1	(CC′)
1,6875	Sexta "Dórico" Maior	$3M + m + s$	27:16	(FD′)
1,6667	Sexta Maior	$2M + 2m + s$	5:3	(CA) (DB) (GE′)
1,6000	Sexta menor	$2M + m + 2s$	8:5	(EC) (AF′) (BG′)
1,5000	Quinta	$2M + m + s$	3:2	(CG) (EB) (FC′) (GD′) (AE′)
1,4815	Quinta Dórico	$M + 2m + s$	40:27	(DA)
1,4250	Trítono	$2M + m$	45:32	(BF)
1,4222		$M + m + 2s$	64:45	(FB)
1,3500	Quarta Dórico	$2M + s$	27:20	(AD′)
1,3333	Quarta	$M + m + s$	4:3	(CF) (DG) (EA) (GC′) (BE′)
1,2500	Terça Maior	$M + m$	5:4	(CE) (FA) (GB) (BD′)
1,2000	Terça Menor	$M + s$	6:5	(EG) (AC′) (BD′)
1,1852	Terça Dórico Menor	$m + s$	32:27	(DF)

3.13 Afinação e Entonação

Descrevemos os modos e a escala diatônica dos quais elas podem ser construídas, e concluímos que as melodias são diatônicas ou quase diatônicas. Apesar disso, é um fato que a escala diatônica

* Para formar escalas análogas compostas de sete intervalos, devemos resolver a equação Diofantina $(^9/_8)^p \times (^{10}/_9)^q \times (^{16}/_{15})^r = 2$, onde p, q e r são inteiros. A única solução é $p = 3$, $q = 2$, $r = 2$; e por tentativas verifica-se que o particular arranjo de Ptolemeu *Mms Mm Ms* dá o número máximo de consonâncias e quase consonâncias. Redfield (op-cit, pp. 191 ff.) propõe o arranjo *mMsMmMs*, que fornece quase tantas consonâncias, quase consonâncias e dissonâncias como 23, 4 e 2 na escala Ptolemaica.

restrita é quase desconhecida na música moderna. O teclado do piano contêm doze, não sete, intervalos para a oitava, e cinco teclas pretas foram acrescentadas para produzir êsses tons adicionais. Por que foi feito isto, e que complicações surgem em conseqüência dessa ação?

A adição das notas pretas (ACIDENTAIS), foi um processo confuso (1200-1600). As melodias modais restritas sofriam de certa monotonia; a harmonia não era apreciada exceto nos intervalos de quarta e quinta; e só ocasionalmente achou-se vantajoso MODULAR de uma chave para outra. Cantando no modo "Iônio" com C como tônica, ou primeiro tom, poucas notas podem ser cantadas no modo Iônio baseado em F. Más no F Iônio, a quarta acima de F deve ser de freqüência $^4/_3 \times {^4/_3} = {^{16}/_9}$ (usando a Tabela 3-2). Isto é bem mais baixo que B ($^{15}/_8$); e, de fato, a nota procurada fica aproximadamente no meio entre A e B. Assim B bemol (B♭) foi acrescentado de forma a ser possível escrever em vários modos, durante o decorrer de uma única composição. Uma outra razão de acrescentar B bemol, foi evitar a dissonância do trítono, que ocorria se um movimento estritamente paralelo de vozes fôsse mantido a uma distância de uma quinta e se a voz, mais grave escolhesse B para cantar (BF′ = trítono). Entretanto, a nota B não era sempre bemolizada, e nosso conhecimento atual da prática de música durante os séculos 14 e 15 é incompleto porque as NOTAS ALTERADAS eram raramente marcadas.* O intérprete usava seu próprio julgamento, assim como o executante de jazz moderno completa as notas impressas, com sua própria experiência musical.

Tôda a dificuldade com a nova música era esta: apesar de uma certa facilidade de modulação, eram necessárias muitas notas alteradas e muitas vêzes era desejável alterar uma nota em diversas direções simultâneamente. Para ilustrar, vamos comparar uma escala verdadeira baseada em E′ com outra que tem C′ como terceiro tom. Tal comparação é de máxima importância, porque um método agradável de modulação seria o de considerar E′ (cuja freqüência fixamos em $2 \times {^5/_4} = {^5/_2}$) como o terceiro tom de uma escala C′. Fazendo C′ assim determinado, o terceiro tom de uma nova escala, achamos que um nôvo tom é necessário, situado entre G e A. Chamamos esta nota A♭, sendo ela alterada do A que é o terceiro tom natural abaixo de C′. Anàlogamente, na escala E′ achamos que o terceiro tom acima de E′ estará também entre G′ e A′; e chamaremos êste nôvo tom G#′ desde que o terceiro tom inalterado seja G.

* Fazer isso, violaria expressamente as leis canônicas para o canto eclesiástico. Daí, a harmonia primitiva que envolvia notas alteradas era chamada "musica ficta".

Abaixando êste G#′ de uma oitava, vamos compará-lo com A♭ já determinado. Lembrando que o intervalo de uma terça maior é 5:4, o cálculo apresenta-se assim:

$$E' = {}^5/_2 \text{ (presumido); portanto } C' = {}^5/_2 \times {}^4/_5 = 2;$$

mas, se C′ = 2, então

$$A\flat = 2 \times {}^4/_5 = {}^8/_5 = 1{,}6000.$$

Por outro lado,

$$E' = {}^5/_2 \text{ (presumido) e } G\# = \frac{{}^5/_2 \times {}^5/_4}{2} = {}^{25}/_{16} = 1{,}5625$$

Portanto, precisamos de dois tons entre G e A!

Escolhemos um caso extremo, mas a dificuldade é básica. Uma manifestação muito simples desta dificuldade é o fato óbvio de que a escala Ptolemaica baseada no intervalo C (DA) não é uma quinta verdadeira (3:2) mas uma quinta Dórica, 40:27.

Mesmo colocando duas notas acidentais entre cada nota branca ou natural não nos seria útil; além disso, a música moderna desenvolveu-se até o seu atual estado harmônico, baseando-se em que cada tom inteiro é dividido em dois semitons, de uma única maneira.

Nós temos duas escolhas: abster de modulação as chaves distantes ou fazer concessões na afinação das escalas existentes. A primeira foi feita pelos músicos da igreja primitiva, e o último método de ajustamento das freqüências conhecemos como AFINAÇÃO (ou TEMPERAMENTO).

IGUAL AFINAÇÃO é discutida em muitos lugares, entretanto, nem sempre corretamente. O método consiste em dividir a oitava ($^2/_1$) em doze semitons *iguais* de valor x. Para determinar x devemos ter $(x)^{12} = 2$, portanto $x = 2^{1/12} = 1{,}059463$.

Assim todos os intervalos de uma quinta são iguais, sendo sete semitons, ou $2^{7/12}$; G# e A♭ são idênticos e exatamente na metade entre G e A. Se C = 1, então $G\# = A\flat = (2^{1/12})^8 = 1{,}587401$ uma vez que existem oito semitons de C a A♭, uma sexta maior. Isto é tão próximo à razão 1,600000 estabelecida pela escala Ptolemaica (Tabelas 3-4) que sòmente um ouvido excepcionalmente apurado pode dizer que a sexta menor temperada é ligeiramente bemolizada.

A quinta temperada torna-se ainda melhor: $(2^{1/12})^7 = 1{,}498307$; poucos músicos podem detectar a diferença de 17 partes em 15.000 entre a quinta temperada e a quinta verdadeira, cuja razão é 1,5000000. Outros intervalos estão indicados na Tabela 3-5.

Pelo método da igual afinação, G# torna-se idêntico a A♭, e é exatamente esta identidade que permite a rica modulação harmônica que associamos à música dos três últimos séculos. Em têrmos gerais, a necessidade de uma afinação é atribuída ao fato de que um número é incomensurável com seu logaritmo a menos que êsse número seja alguma potência ou raiz da base. Para nosso problema a base é 2; uma vez que qualquer raiz inteira de 2 é irracional, a oitava não pode ser dividida em partes *iguais,* exceto por razões *irracionais.* As razões são, pois, dissonantes por causa de nossa hipótese fundamental de razões *simples.* A razão pela qual a divisão em doze semitons satisfaz tão bem é que $2^{7/12}$ é aproximadamente igual a $^3/_2$, abaixo do limiar de percepção de diferenças de altura; graças a êste limiar finito — um fenômeno fisiológico — devemos o enorme desenvolvimento da harmonia desde 1700, que ainda tem lugar.

TABELA 3-5

INTERVALOS AFINADOS COMPARADOS COM VERDADEIROS

Tom	*Escala Verdadeira*	*Escala Temperada*	*Porcentagem de Diferença*	*Intervalo de C*
C	1,00000	1,00000	0	Uníssono
C♯, D♭ ..	——	1,05946	——	Semiton
D	1,12500	1,12246	——	——
D♯, E♭ ..	1,20000	1,18921	— 0,9	Terça Menor
E	1,25000	1,25992	+ 0,8	Terça Maior
F	1,33333	1,33484	+ 0,1	Quarta
F♯, G♭ ..	——	$1{,}414214 = \sqrt{2}$	——	Trítono
G	1,50000	1,49831	— 0,1	Quinta
G♯, A♭ ..	1,60000	1,58740	— 0,8	Sexta Menor
A	1,66667	1,68179	+ 0,9	Sexta Maior
A♯, B♭ ..	——	1,78180	——	——
B	1,87500	1,88775	——	——
C′	2,00000	2,00000	0	Oitava

Afirma-se, muitas vêzes, que enquanto é necessário uma afinação para instrumentos com teclas, como o piano, órgão ou flauta, os executantes de instrumentos de arco não precisam se preocupar com a afinação, desde que podem tocar em qualquer tom, mesmo que êste seja irracional. É verdade que, tanto quanto possível êles tocarão a escala verdadeira, em passagens de solo escritas em um ou dois modos relacionados; neste aspecto, o instrumento de tecla· é inferior. Mas as inconsistências da escala verdadeira são numéricas; é impossível para um violinista ou cantor estar sempre afinado, mesmo com si próprio,[*] e freqüentemente[†] um quarteto de cordas — seus membros são livres de tocar todos os intervalos racionais e irracionais — deve recorrer a uma escala afinada se quizer evitar dissonância. A nota G# é realmente diferente de A♭, e a mudança quando necessária é conhecida como uma "modulação ENARMÔNICA". Se um instrumento muda enquanto os outros não, resultará dissonância, se todos simultâneamente, haverá uma descontinuidade melódica perceptível; neste caso muitos quartetos preferem o uso da escala afinada. Cantores de ópera também podem lucrar muito com um estudo das limitações de sua escala verdadeira.

3.14 Diferenças de Tons

Concluindo, vamos mencionar ligeiramente alguns outros aspectos científicos da música. Vimos que dois tons sempre produzem um terceiro, cuja freqüência é a diferença de suas freqüências. Quando suficientemente rápida, esta DIFERENÇA de TOM é integrada pelo ouvido e tem as características subjetivas de um tom usual — altura, intensidade e talvez timbre. As diferenças de tons, ilustrados na Fig. 3-5, são fracas em si, uma vez que são simples-

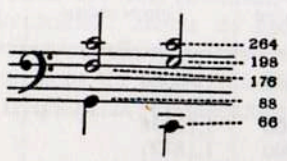


FIG. 3-5 — Diferença de tons. Note que os tons extras fornecem uma harmônica.

mente variações, relativamente lentas, da intensidade de um som que já está variando bem ràpidamente, mas pode ser percebido com facilidade quando notas de um diapasão são ruidosamente soadas no órgão. (Às vêzes é possível perceber tais notas no piano[‡].) Sem dúvida há diferenças de tons devidas a batimento de parciais presentes nos tons iniciais; antes de mais nada, os parciais têm intensidade baixa e o processo da diferença de tom tem pouca eficiência portanto precisam ser consideradas sòmente diferenças de tons produzidas pelos fundamentais.

---

[*] Veja "American Physics Teacher", II (1934), 81, para uma discussão interessante sôbre afinação.

[†] Por exemplo, na secção de desenvolvimento do primeiro movimento do quarteto de *Brahms, Op.* 67, *Quarteto em B.*

[‡] A integração de uma diferença de tom em uma nota de determinada altura, depende do fato de que o ouvido, como um mecanismo amplificador, tem uma resposta que não é exatamente linear. Talvez, isto seja devido à assimetria do tímpano.

Assim percebemos a razão pela qual a tríade menor (C E♭ G) parece ligeiramente insatisfatória e inconclusiva, enquanto a tríade maior (C E G) parece completa em si. (Estas notas são vistas na Fig. 3-6).

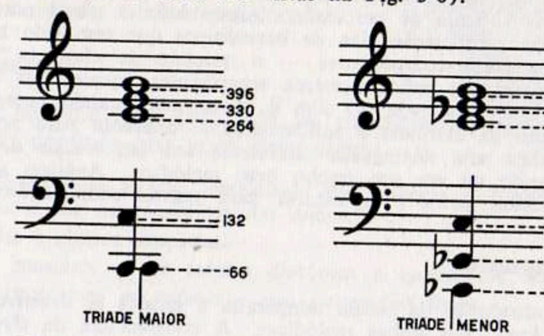


FIG. 3-6 — Diferença de tons produzidos por uma tríade maior e por uma tríade menor.

Uma diferença de tons formada por elementos da tríade menor está num intervalo dissonante (A♭ — G); isto não é válido na tríade maior. Compositores atuais estão começando a perceber êste fenômeno que, sem dúvida, tem algo a ver com o efeito tonal da música.

3.15 Instrumentação

Para uma certa composição, a escolha que o compositor faz dos instrumentos dependerá dos efeitos que êle quer produzir e dos instrumentos que tenham sido inventados até aquela data. Um quarteto de cordas (dois violinos, viola e violoncelo) dá um tom bem harmonioso, porque os vários instrumentos envolvidos produzem tons que têm, a grosso modo, seqüências semelhantes de tons parciais.

Também nesta combinação, podem ser produzidas freqüências que cobrem todo o intervalo de 65 até aproximadamente 2.000 ciclos/s, sem lacuna — fato de grande importância tendo em vista a melodia. Atualmente podem ser formadas outras combinações harmoniosas que têm as mesmas características enumeradas para o quarteto de cordas — uma delas é a combinação de instrumentos de sôpro de uma única palheta como duas clarinetas afinadas em B♭, um corno basseto, e uma clarineta baixo. A combinação de instrumentos de sôpro, de palheta dupla, como o oboé, corno inglês, "heckelfone", e fagote será uma outra combinação harmoniosa, apesar de terem tonalidades distintas. Conjuntos metálicos foram usados com grande efeito por Wagner, mas os compositores atuais, parece que se atrasam em relação aos criadores de instrumentos científicos, que proporcionaram outras combinações que são pouco usadas. Usando-se uma tabela análoga à Tabela 3-1, pode-se reunir grupos de instrumentos que podem ser de grande uso para os compositores; deve-se, dêste modo, dar incentivo ao desenvolvimento de instrumentos novos e melhoramento dos antigos, que é um problema para físicos e engenheiros. O quarteto de cordas era preferido pelos compositores clássicos em parte porque os outros instrumentos não haviam sido ainda aperfeiçoados nem o são mesmo agora.

Considerações sôbre o timbre do tom ajudam à combinação de instrumentos de diferentes tipos. A combinação do piano e o quarteto de cordas para formar um quinteto é sob certo aspecto, infeliz, porque o piano é um instrumento essencialmente de percussão. Substituindo o piano por uma clarineta, temos uma combinação rica de harmônicos que tem sido lamentàvelmente desprezada pelos compositores — o quinteto de clarineta.* Os tons parciais de clarineta são suficientemente semelhantes àqueles das cordas, de maneira que a homogeneidade do som é preservada quando necessário; por outro lado, o tom da clarineta é suficientemente diferente para permitir que sua linha melódica seja distinguida fàcilmente em um trecho de desenvolvimento complicado ou em um trecho bem melódico. Análises semelhantes podem ser aplicadas pelos compositores para outras combinações possíveis.

3.16 Contraponto

Antes da introdução da escala temperada a música se desenvolveu, principalmente, ao longo das linhas melódicas. A consonância da têrça foi descoberta por acaso, quando *duas* melodias tocadas simultâneamente estavam separadas por êsse intervalo. A grande música polifônica† de Palestrina foi igualada à de Bach, que também popularizou a escala temperada resultando o uso de um círculo mais amplo de claves.‡

Ora, se quizermos distinguir várias melodias simultâneamente, tem grande importância a instrumentação. O órgão é um instrumento pouco adequado para êsse propósito, uma vez que o mesmo conjunto de tubos deve ser muitas vêzes usado para várias melodias ou VOZES de uma fuga, e é difícil dar ênfase, mesmo nos órgãos modernos, a qualquer uma das vozes com a exclusão das outras. O defeito do piano é o baixo valor da sobrevivência (um tom morre de 2 até 15 s) mas tem "acentuação melódica". O quarteto de cordas foi usado por Beethoven para algumas grandes fugas (especialmente *Op.131* e *Op.133*) mas a própria unidade de tonalidade mencionada atrás, prejudica a utilidade do quarteto de corda para a música de contraponto.

Talvez a solução seja usar um tipo completamente diferente de instrumento para cada voz, e haverá menos perigo de colocar juntas notas individuais de cada uma das melodias, em ordem vertical, para formar um acorde. O conflito entre contrapontistas e harmonistas foi comparado àquele entre serralheiros e arrombadores. Os contrapontistas forjavam melodias que quando vistas verticalmente, pareciam completamente livres de possível interpretação como harmonia. Com o correr do tempo, o ouvido acostumou-se às dissonâncias e as considerou harmonia, de maneira que os contrapontistas tiveram que recorrer a novas e mais complexas melodias dissonantes para escapar à tendência crescente da consonância harmônica. Um terceto muito interessante de Holst (1874-1935) é escrito para três instrumentos totalmente diferentes — flauta, oboé e viola — e para se assegurar que o ouvinte não combine as

* *O Opus* 115 de Brahms e K. 581 de Mozart se classificam entre as obras primas dêsses compositores; os outros quintetos de clarineta notáveis são os de Reger (1873-1916) e Bax (1883-1953).

† "Muitas vozes"

‡ *"O Cravo bem Temperado"* de J. S. Bach (1685-1750) é uma série de quarenta e oito prelúdios e fugas, duas em cada escala maior e menor. Estas composições podiam ser tocadas sem desafinação sòmente com uma escala temperada. "Os Quarenta e oito" constitue um documento de mais alta importância com relação tanto à harmonia como ao contraponto. Êles influenciaram muito o desenvolvimento musical.

partes numa harmonia, a flauta toca na clave de A maior, o oboé na clave de A bemol e a viola na clave de C. Aqui a harmonia é abandonada (Holts assim espera) e o ouvinte está "livre" para apreciar cada uma das melodias em suas interrelações rítmica e melódica.

3.17 Resumo

Segue-se uma lista resumida de definições, princípios e teorias dados neste capítulo que você deve saber:

As definições de altura, intensidade ou potência e timbre de um som em têrmos das características das ondas.

A análise e síntese dos sons.

Escalas musicais — as escalas diatônica e igualmente temperada.

Vários problemas na música e sua correlação física.

Problemas Práticos

1 — Calcule as freqüências dos harmônicos do pequeno sino da tabela 3-1, supondo que a freqüência fundamental seja 264 ciclos/s (C médio). Determine as notas correspondentes no piano (aproximadamente) usando a tabela 3-5, estendendo a outras oitavas onde necessário.

2 — Toque C num piano bem afinado, depois cante (sem acompanhamento), subindo, "do, ré, mi" até aquêle que pareça o valor de mi mais consoante, ou E. Então toque E no piano. Qual estará mais alto, você ou o piano? Qual está errado, você ou o piano? (Esta experiência não necessita uma boa voz musical; se estiver em dúvida do resultado, tente cantar adiante "la, si, do" em experiência análoga, começando no C e terminando no E♭. O resultado agora será em sentido oposto mostrando que o efeito está realmente presente).

3 — Uma trompa toca, do, fa, la, do′, e começa com a nota, do, de freqüência 300 vibrações/s. Dê as freqüências das outras notas.

4 — Pode um piano ser afinado para tocar a escala diatônica em qualquer chave? Se pode, por que isto não é feito?