

- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Computação Musical - Introdução

slides do curso MAC0337/5900 – Computação Musical,
baseados no capítulo 1 do livro de F. Richard Moore
Elements of Computer Music

Marcelo Queiroz

Departamento de Ciência da Computação
Instituto de Matemática e Estatística
Universidade de São Paulo

Versão de 2019

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Conteúdo

- Introdução
- Dados e processos musicais
- Pensamento musical
- Composição
- Performance
- Instrumentos
- Salas
- Escuta
- Contexto interdisciplinar

Preâmbulo

- Página da disciplina: <http://paca.ime.usp.br>
senha para inscrição: compmus2019
- Leiam a [página de informações importantes](#)
- Leiam a [página CompMus001-Readme](#) sobre os exemplos de código
- Usem o Fórum
- Falem com o monitor: nicolas.figueiredo@usp.br

Preâmbulo

- Sobre os pré-requisitos:
- Teoria musical é interessante, mas não é pré-requisito.
- Programação é importante, mas iremos trabalhar com uma linguagem nova a partir do zero (exemplos em C do Moore podem ser ignorados).
- Matemática é importantíssima, mas tentaremos construir a maior parte do ferramental necessário a partir de matemática elementar do colegial (apesar de uma ou outra digressão menos elementar).

Introdução

Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Preâmbulo

- Resumindo: Não se desesperem! (a despeito dos comentários nas páginas xi, 5 e 25 do livro do Moore...)
- Leiam o texto original, que contém discussões interessantíssimas que não teremos tempo de fazer aqui (só na introdução ele fala em Platão, Astronomia, 6^o sentido e percepção do tempo, etc.).

Marcos históricos

- Primeiros registros analógicos (séc. XIX - [ex1](#), [ex2](#))
- Emancipação do ruído ([Luigi Russolo - A arte do ruído 1913 - Intonarumori](#))
- Inclusão de fonogramas em peças orquestrais ([1924 - Pinheiros de Roma - Ottorino Respighi](#))
- Instrumentos eletrônicos ([Theremin 1919](#), Ondes Martenot 1928, Trautonium 1929,...) e sua inclusão no repertório tradicional

Marcos históricos

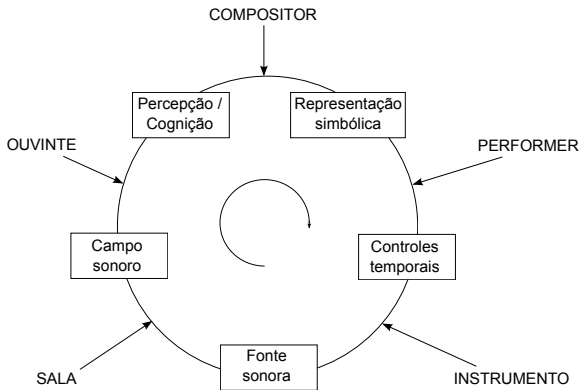
- Musique Concrète ([Pierre Schaeffer](#), 1940s, Estúdios da Radiodiffusion-Télévision Française)
- Elektronische Musik ([Karlheinz Stockhausen](#), 1940s-1950s, Estúdios da West-Deutscher Rundfunk)
- Música gerada por computador ([Illiac Suite](#), 1956)

Usos do computador

- Representação de dados sonoros e musicais
- Manipulação de dados sonoros e musicais
- Simulação de processos musicais tradicionais
- Criação de novos processos musicais
- Experimentação (repetição exata, alta precisão temporal)

- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Informação musical e Agentes musicais



	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Pensamento musical

- Vivência sonora (memória)
- Imaginação (fantasia)
- Meios para realização de ideias
- Exploração e invenção
- Exemplo ilustrativo: [Klangfarbenmelodie](#)
- Outro exemplo: morphing (geométrico/instrumental)

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Composição

- Criação de discursos de sons no tempo
- Tradicionalmente: criar representações simbólicas
- parâmetros “simbólicos”: altura, dinâmica, ritmo, timbre
- correlatos físicos: frequência, intensidade, duração, (?)
forma de onda, evolução espectral, formantes, direcionalidade

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

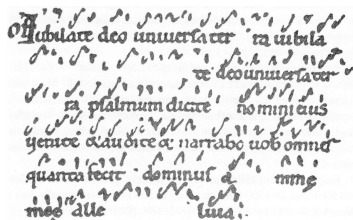
Eventos musicais, durações e periodicidade

- formas de onda em sinais quasi-periódicos
(20 Hz – 20 kHz, 50 ms – 50 μ s)
- notas
(67 ms – 10 s, 0.1 Hz – 15 Hz)
- frases
(2 s – 60 s, 0.017 Hz – 0.5 Hz)
- movimentos
(30 s – 20 min)
- sonatas, sinfonias, óperas
(5 min – >120 min,)

- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Notações musicais

- Neumas (séc. IX)



Introdução
Dados e processos musicais (1.1)
Pensamento musical (1.2)
Composição (1.3)
Performance (1.4)
Instrumentos (1.5)
Salas (1.6)
Escuta (1.7)
Contexto interdisciplinar (1.8)

Notações musicais

- Neumas (séc. IX)
- Notação quadrada (séc. XI)



Introdução
Dados e processos musicais (1.1)
Pensamento musical (1.2)
Composição (1.3)
Performance (1.4)
Instrumentos (1.5)
Salas (1.6)
Escuta (1.7)
Contexto interdisciplinar (1.8)

Notações musicais

- Neumas (séc. IX)
- Notação quadrada (séc. XI)
- Tablaturas (séc. XIV)



Introdução
Dados e processos musicais (1.1)
Pensamento musical (1.2)
Composição (1.3)
Performance (1.4)
Instrumentos (1.5)
Salas (1.6)
Escuta (1.7)
Contexto interdisciplinar (1.8)

Notações musicais

- Neumas (séc. IX)
- Notação quadrada (séc. XI)
- Tablaturas (séc. XIV)
- Not. tradicional (sécs. XVI-XVII)



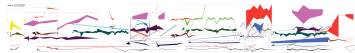
- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Notações musicais

- Neumas (séc. IX)
- Notação quadrada (séc. XI)
- Tablaturas (séc. XIV)
- Not. tradicional (sécs. XVI-XVII)
- Not. visual (séc. XX)

KONTAKTE Aufführungspartitur Seite 1 / performance score page 1

The image shows two staves of a musical score. The top staff, labeled 'II', features traditional notation with square notes and rests, including dynamic markings like 'mf' and 'f'. It includes time signatures '2/8' and '3/8'. The bottom staff, labeled 'III', is a graphic score with abstract shapes, lines, and colors. It includes the text 'Alterslied' and 'In allen der Gänge' along with time signatures '2/8' and '3/8'. Both staves have various time markers and performance instructions.



	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Performance

Partitura só fornece instruções incompletas (ex. staccato)

Fontes de informação adicional:

- Anotações adicionais na partitura
- Conhecimento sobre a mecânica e a resposta do instrumento
- Conhecimento sobre estilo musical e prática de performance
- Feedback acústico do ambiente durante a performance

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Expressividade na performance

- Variações de articulação (tipo de sopro, arcada ou toque)
- Variações rítmicas (rubato, accelerandos e ritardandos)
- Inflexões na altura (vibrato, portamentos e outras)
- Inflexões na dinâmica (tremolo, crescendos e diminuendos)
- Variações de timbre (frulatto, sul ponticello, col legno, uso de plectros e outros objetos)

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Famílias tradicionais

- Instrumentos de corda (friccionada, pinçada ou percutida)
- Instrumentos de sopro (com janelas, bocais, palhetas simples e duplas)
- Instrumentos de percussão (barras, pratos, membranas com ressonadores, etc.)
- Vozes

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Instrumentos digitais e técnicas de síntese

- Síntese aditiva (Modelo Harmônico, Phase Vocoder)
- Síntese subtrativa (Modelo Fonte-Filtro, Formantes, Morphing)
- Modelos não-lineares (FM, Waveshaping)
- Modelos físicos (equações diferenciais, waveguides, Karplus-Strong)

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Acústica de salas

- Reverberação
- Absorção dependente da frequência
- Colorido da sala, ênfase nos modos naturais
- Dependência da posição de escuta
- Acústica da sala original x espaço de reprodução

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Simulação acústica e espacialização

- Reverberadores genéricos
- HRTFs (Head-Related Transfer Functions)
- Modelos geométricos (fontes virtuais, traçado de raios)
- Modelos de equação de onda
- Dificuldades: difusão, difração, movimentação

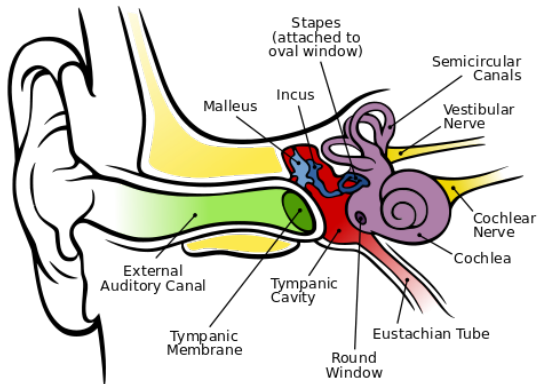
	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Níveis de percepção

- Campo sonoro espacial e “amostragem” dos ouvidos
- Processamento no ouvido médio (transdução)
- Processamento no ouvido interno (filtragem por bandas e recodificação)
- Processamento nos nervos auditivos (correlação LR)
- Processamento no cortex auditivo e demais regiões do cérebro

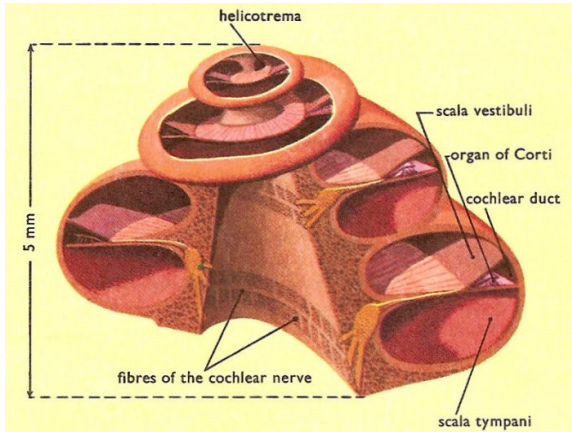
- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Ouvido interno e cóclea



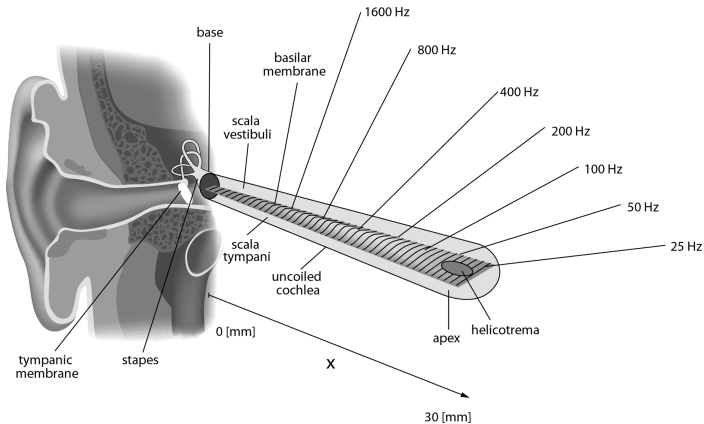
- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Ouvido interno e cóclea



- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Ouvido interno e cóclea



- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Correlatos físicos → perceptuais → cognitivos

Física	Percepção	Cognição
Ar	Ouvido	Mente
Existência	Detecção	Consciência
Som	Sensação	Música
Intensidade	Volume (loudness)	Dinâmica
Frequência	Altura (pitch)	Notas/Intervalos
Espectro	Timbre	Instrumento
Radiação	Localização	Espacialidade

- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

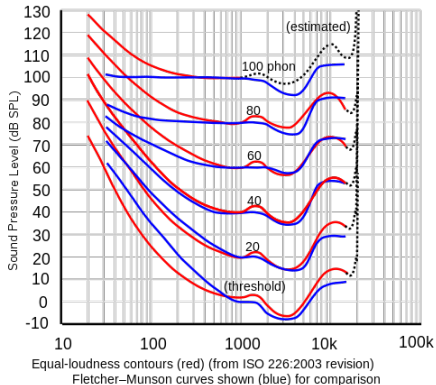
Percepção de Volume

- Nível de intensidade sonora (medido em dB a 1000Hz):

$$IL(I) = 10 \log_{10} \frac{I}{10^{-12}}$$

onde 10^{-12} W/m^2 é o limiar da audição humana.

- Curvas de Fletcher-Munson:



	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Percepção de Volume

- Nível de Loudness (medido em *phons*) serve apenas para estabelecer equivalência entre sons de frequência diferentes e mesma “intensidade perceptual”
- Para comparar volumes diferentes é necessário usar a escala subjetiva de Loudness, medida em *sones*:

$$L \propto \sqrt[3]{I}$$

- Exemplo: para dobrar o Loudness subjetivo é necessário multiplicar a intensidade física por 8, o que corresponde a um aumento de $10 \log_{10} 8 \approx 9$ dB no nível físico de intensidade.

Introdução	
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Percepção de Volume

E pode ficar mais complicado...

- a fórmula anterior só se aplica se as componentes frequenciais f_1, f_2, \dots, f_N caem na mesma *banda crítica*:

$$L \propto \sqrt[3]{I_1 + I_2 + \dots + I_N}$$

- se as componentes caem em bandas críticas diferentes, o Loudness subjetivo obedecerá

$$L \propto \sqrt[3]{I_1} + \sqrt[3]{I_2} + \dots + \sqrt[3]{I_N}$$

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Percepção de Volume

- Exemplo: se $I_1 = I_2$ os dois sons juntos parecerão mais fortes se estiverem afastados de um intervalo maior do que uma banda crítica do que se estiverem muito próximos
- Finalmente, se as distâncias forem muito maiores do que uma banda crítica, pode ocorrer o fenômeno de mascaramento:

$$L \propto \max\{\sqrt[3]{I_1}, \sqrt[3]{I_2}, \dots, \sqrt[3]{I_N}\}$$

	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Percepção de Altura

- A relação entre altura musical e frequência em sinais periódicos “costuma” obedecer a uma relação logarítmico-exponencial: quocientes iguais de frequência correspondem a intervalos melódicos iguais:

$$2:1 = \textit{oitava}$$

$$3:2 = \textit{quinta justa}$$

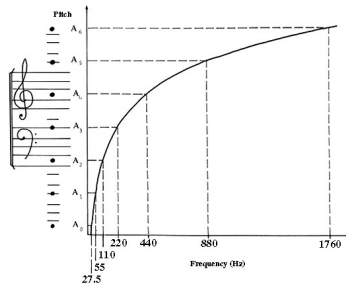
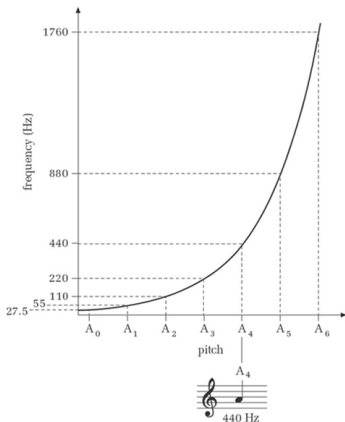
$$4:3 = \textit{quarta justa}$$

$$5:4 = \textit{terça maior}$$

$$6:5 = \textit{terça menor ...}$$

- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Percepção de Altura



	Introdução
Dados e processos musicais	(1.1)
Pensamento musical	(1.2)
Composição	(1.3)
Performance	(1.4)
Instrumentos	(1.5)
Salas	(1.6)
Escuta	(1.7)
Contexto interdisciplinar	(1.8)

Percepção de Altura

- No caso da escala de 12 semitons iguais, vale que 1 semitom corresponde ao quociente $\sqrt[12]{2} = 2^{\frac{1}{12}}$, ou ainda

$$f_{Hz}(k) = F_0 2^{\frac{k}{12}}$$

onde F_0 é uma frequência de referência qualquer e k é o número de semitons acima ou abaixo de F_0

- Porém: nos extremos grave e agudo a percepção se desvia um pouco da teoria
- Além disso a percepção intervalar melódica e harmônica não é igual (escala de *mels*)

- Introdução
- Dados e processos musicais (1.1)
- Pensamento musical (1.2)
- Composição (1.3)
- Performance (1.4)
- Instrumentos (1.5)
- Salas (1.6)
- Escuta (1.7)
- Contexto interdisciplinar (1.8)

Contexto interdisciplinar

