

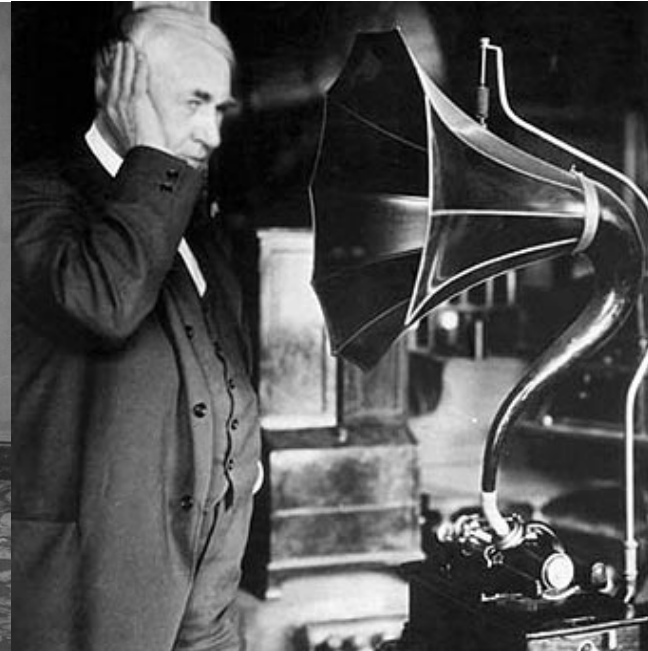
TECNOLOGIAS SELECIONADAS:

Gravação de áudio

Noções introdutórias sobre tecnologias (etimologia—

τεχνηνε: arte, habilidade, destreza e *λογία*: “palavra”,

“razão”, “estudo”) selecionadas.



1880	"The phonograph has no commercial value at all."	Thomas Edison
------	--	---------------

1920	No imaginable commercial value. Who would pay for a message sent to nobody in particular?	Você sabe quem ...(RCA)
------	---	-------------------------

1981	"640K ought to be enough for anybody."	Bill Gates
------	--	------------

O primeiro dispositivo que permitiu a gravação do som e sua reprodução foi o fonógrafo de [Edison](#), em 1877 (*Mary had a little lamb...*), no qual as ondas sonoras que chegavam a um diafragma faziam vibrar uma agulha, marcando uma ranhura de profundidade variada num cilindro que girava e que estava revestido com uma lâmina metálica.

O cilindro, que deveria ser girado a mão, funcionava com uma agulha unida a um diafragma.



Em 1887, [Emile Berliner](#) desenvolveu o **gramofone**, que utilizava discos em vez de cilindros; a grande vantagem deste aparelho era que os discos podiam ser produzidos em massa a partir de um "modelo". 1908

LP

Em 1948, o disco "longa duração" (*long-play*, em inglês), melhorou a qualidade do som e estendeu o tempo de reprodução para mais de **20 minutos** (!) por lado.

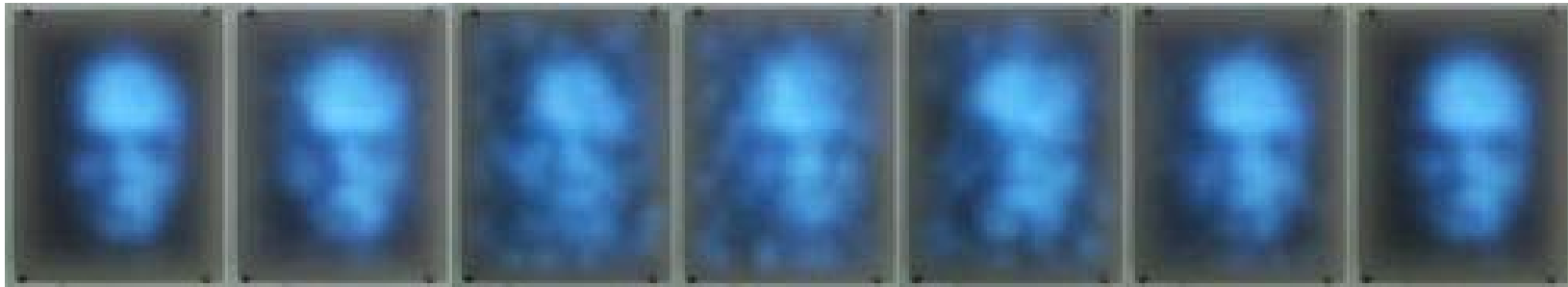


TEOREMA DA AMOSTRAGEM



Harry Nyquist 1924

Estudo de sinais telegráficos (medições): a taxa de amostragem (hoje, a Taxa de Nyquist).



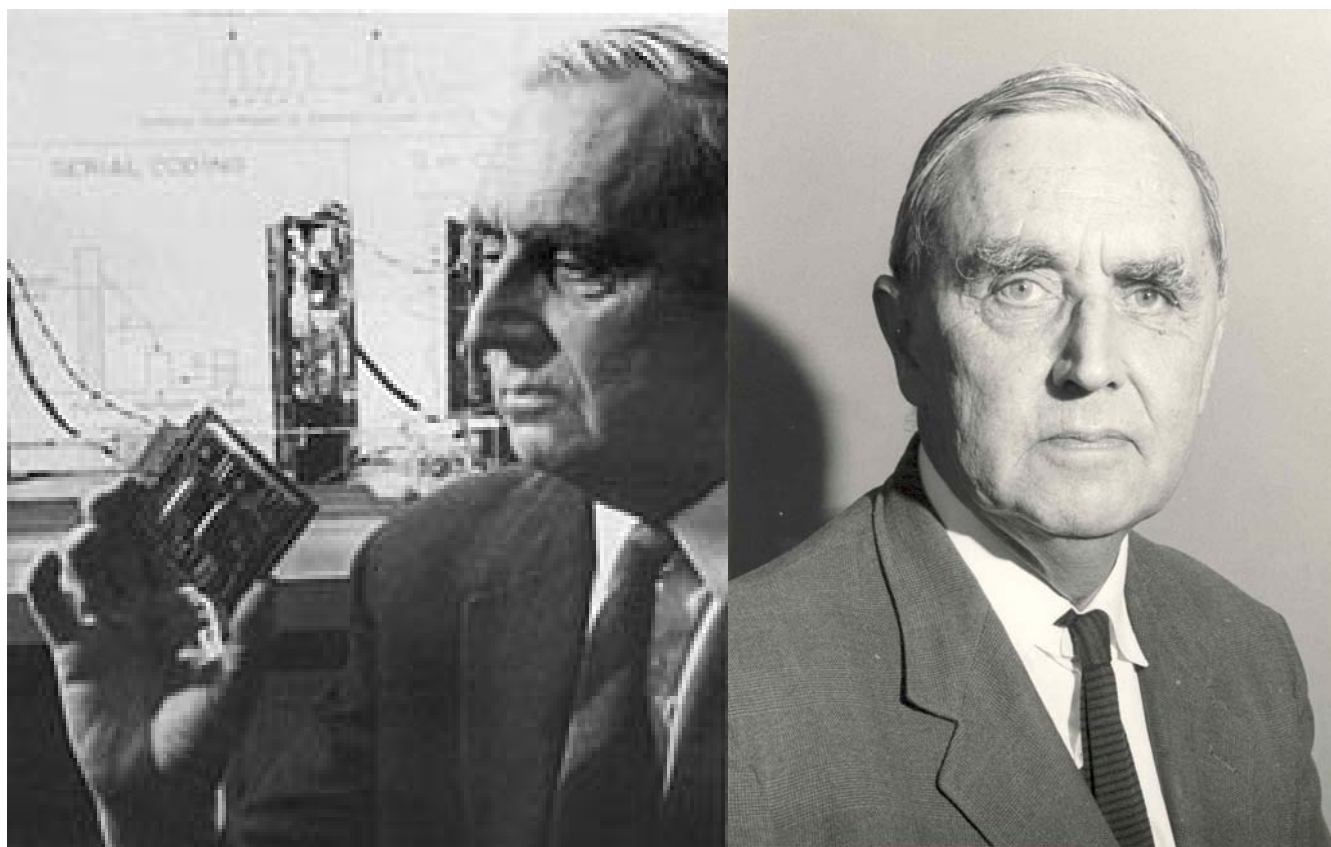
Jim Campbell, *Portrait of a Portrait of Harry Nyquist*, 2000



Claude Elwood Shannon



The National Medal of Science
The Medal of honor of the IEEE
The Harvey prize
The Mervin J. Kelly Award
The Morris Liebmann Memorial Award
The Stuart Balantine Medal (of the Franklin Institute)
The Jacquard Award
The Harold Pender Award
The Research Cooperation Award
The Medal of Honor of Rice University
John Fritz Medal
Golden plate Award
Kyoto prize, entre vários outros



Sir [Alec Reeves](#), patente 1937 PCM

Início da possibilidade de gravação digital: o primeiro conversor A/D...

Tecnologia Digital: *Compact Disc* (Digitalização em CDs)

1983 "*CD Digital Audio Systems*" (Compact Disc)

- sinal de áudio com 44.100 amostras por segundo.
- conversão A/D de 16 bits.

As amostras, cada com 32 bits (16 por canal, direito e esquerdo), são agrupadas em um quadro de 6 amostras.

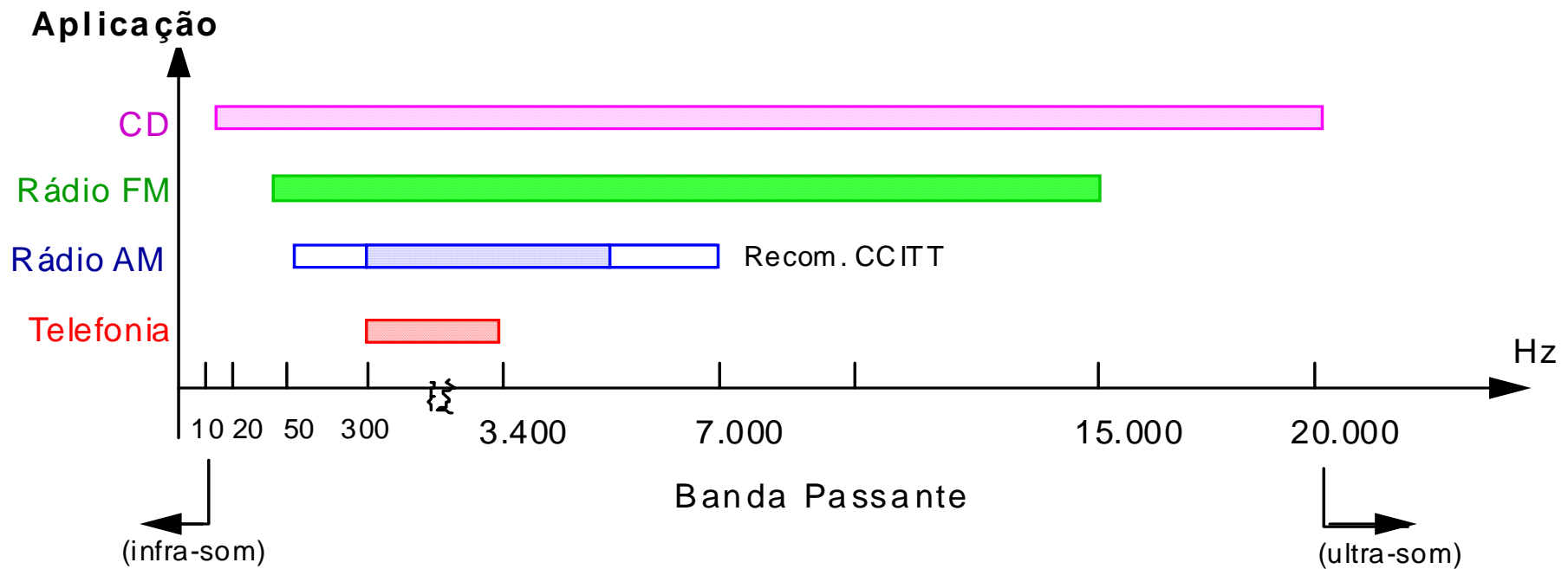


Figura - Requisitos de banda passante do sinal de áudio para diversas aplicações.

<http://micro.magnet.fsu.edu/electromag/java/cd/> How CD works?

Nota histórica sobre CDs:



Em contato com funcionários da *Philips* no Brasil que tiveram cursos na sede na Holanda, ouvimos comentários acerca da escolha do diâmetro inicial do CD, mencionando que o mesmo foi escolhido com base em uma cartela de papelão de cerveja Heineken.

Uma disputa sugerira tempo de gravação (natural) de 60 minutos (1 hora de gravação) em um disco de diâmetro 100 mm ([Sony](#) 16-bit 44.100 amostras/s) ou 115 mm ([Philips](#) 14-bit 44.000 amostras/s).

Este tamanho inicial, um pouco menor que o atual, foi substituído pelos engenheiros da Sony (na parceria que gerou os CDs), adotando um diâmetro capaz de armazenar integralmente a 9ª sinfonia de Beethoven tocada no *Bayreuth Festival* (74 minutos), por sugestão de [Von Karajan](#).

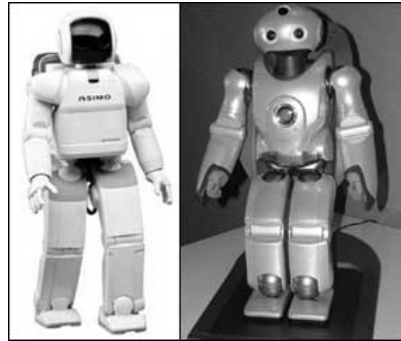


Kornelis ("Kees") Antonie Schouhamer Immink 1979



Toshitada Doi (土井利忠), CD 1979

tb:



Aibo

Asimo

Qual a principal razão da robustez e qualidade das gravações digitais?



Ora, no Prof. Ricardo Menezes Campello de Souza...
Ou corpos finitos, grupos, códigos de blocos, matemática discreta...

Codificação concatenada de dois códigos de **Reed-Solomon**, reduzindo a probabilidade de erro por byte de 10^{-4} para 10^{-15} !

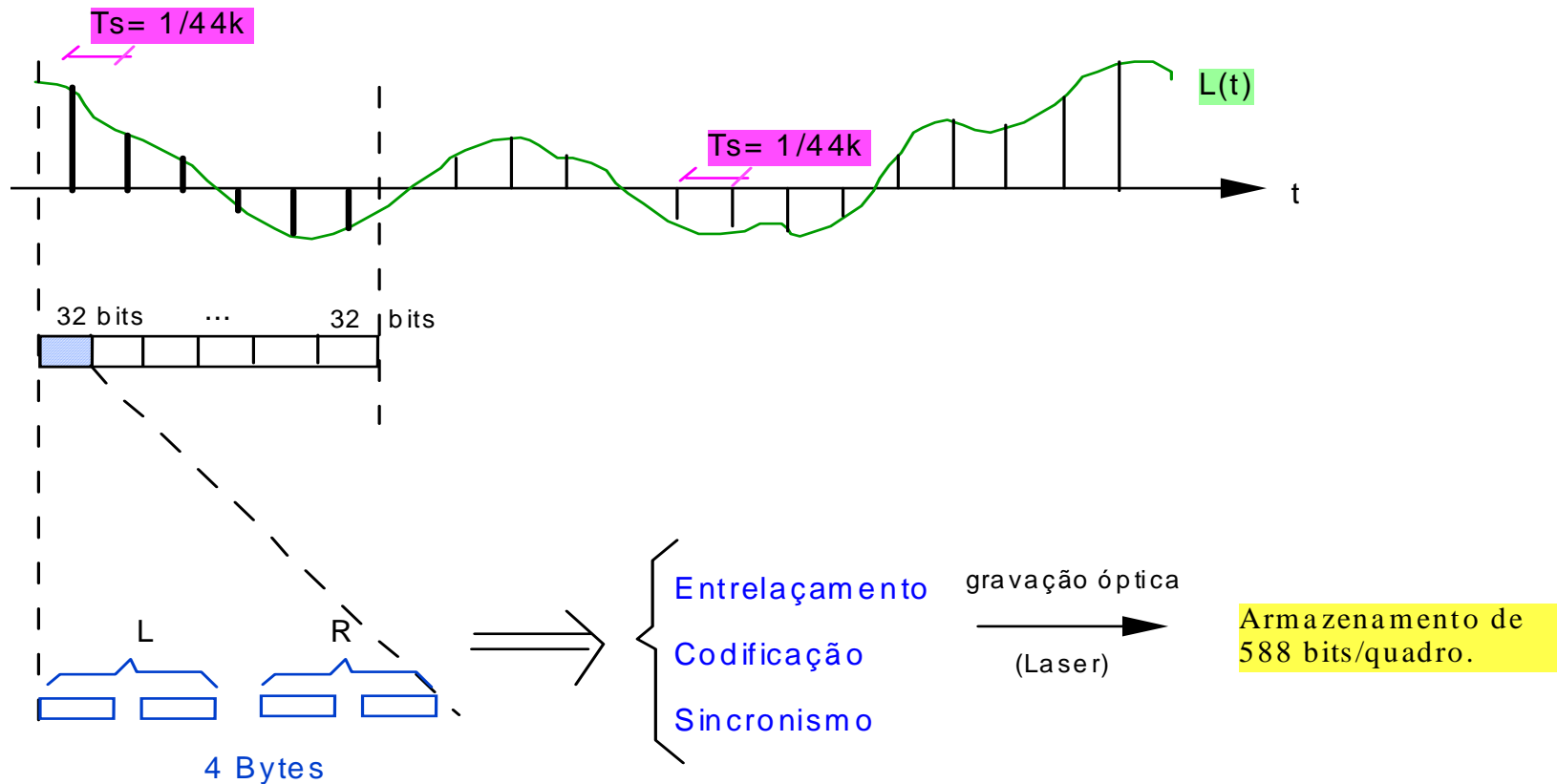


Figura- CD: Conversão A/D do áudio.

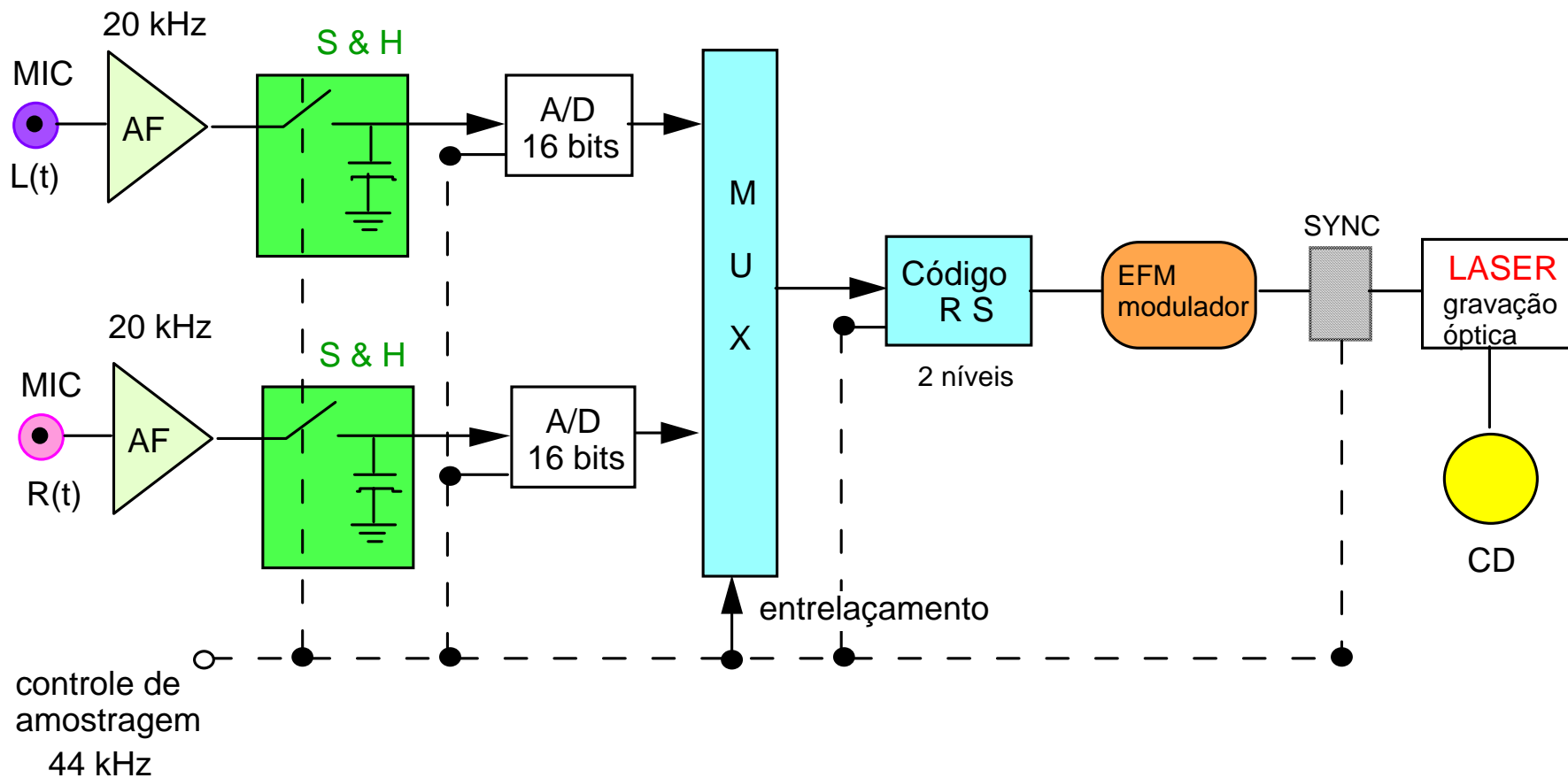


Figura - Esquema de áudio digital em CD (Gravação Digital).

QUESTÃO AOS NOVOS ENGENHEIROS.

Em que reside o grande sucesso, compacticidade, precisão na leitura, no caso dos CDs?



Ora, no Prof. Elio Meneses Pacheco...

Grande parte da superfície de leitura na qual ocorre a incidência do Laser é plana, sendo chamada de região de terra (*land*).

Certo número de baixos relevos na “paisagem”, chamados de poços (*pits*), também aparece no percurso da leitura.

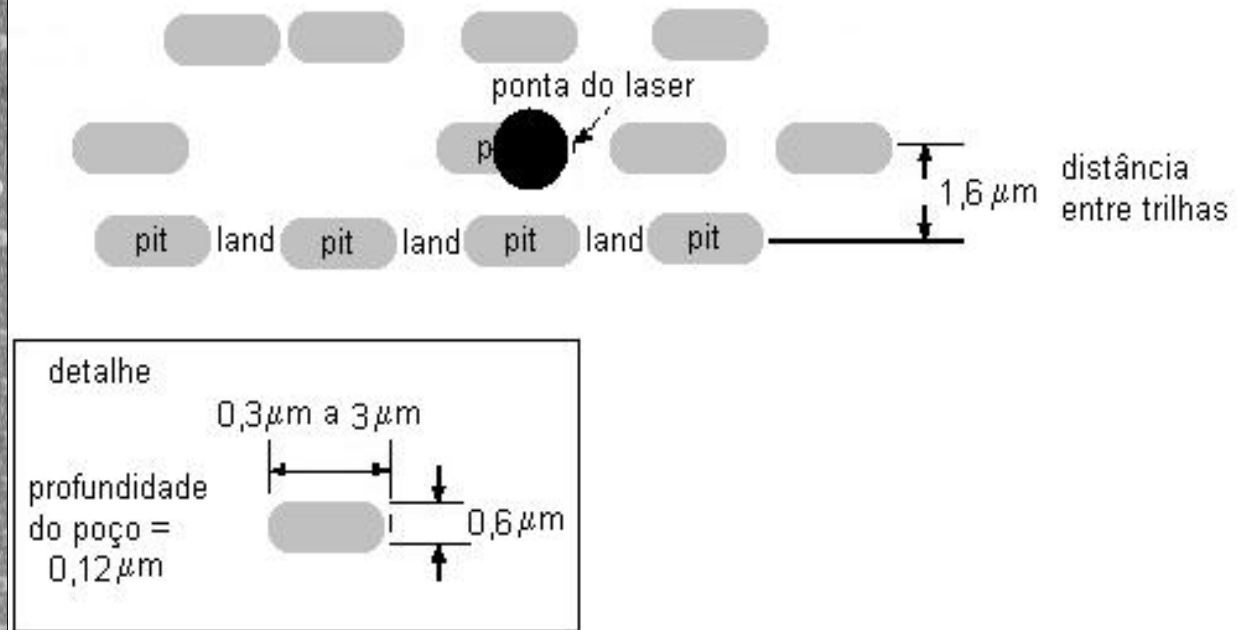
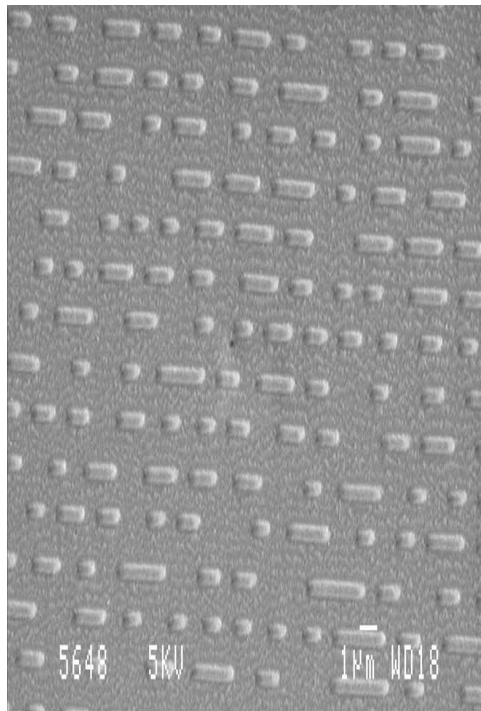
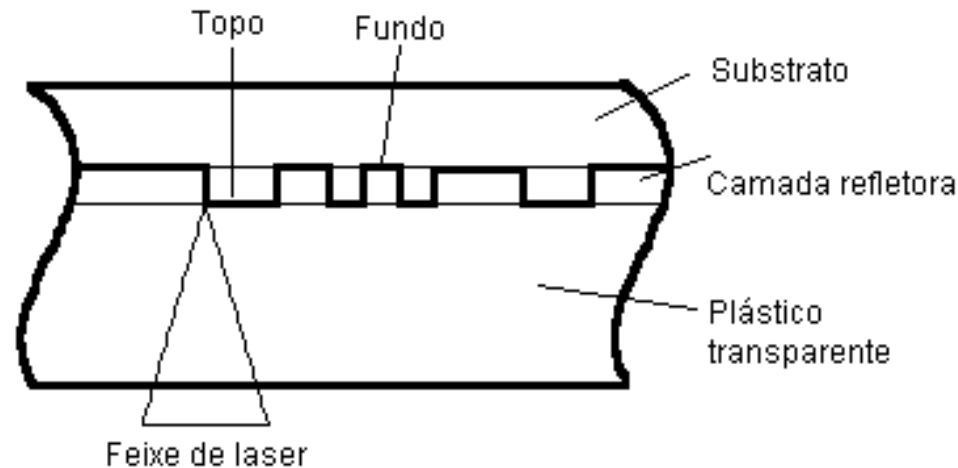


Figura – Detalhes da gravação em um CD: três trilhas são ilustradas. ponta do laser=circulo em preto.

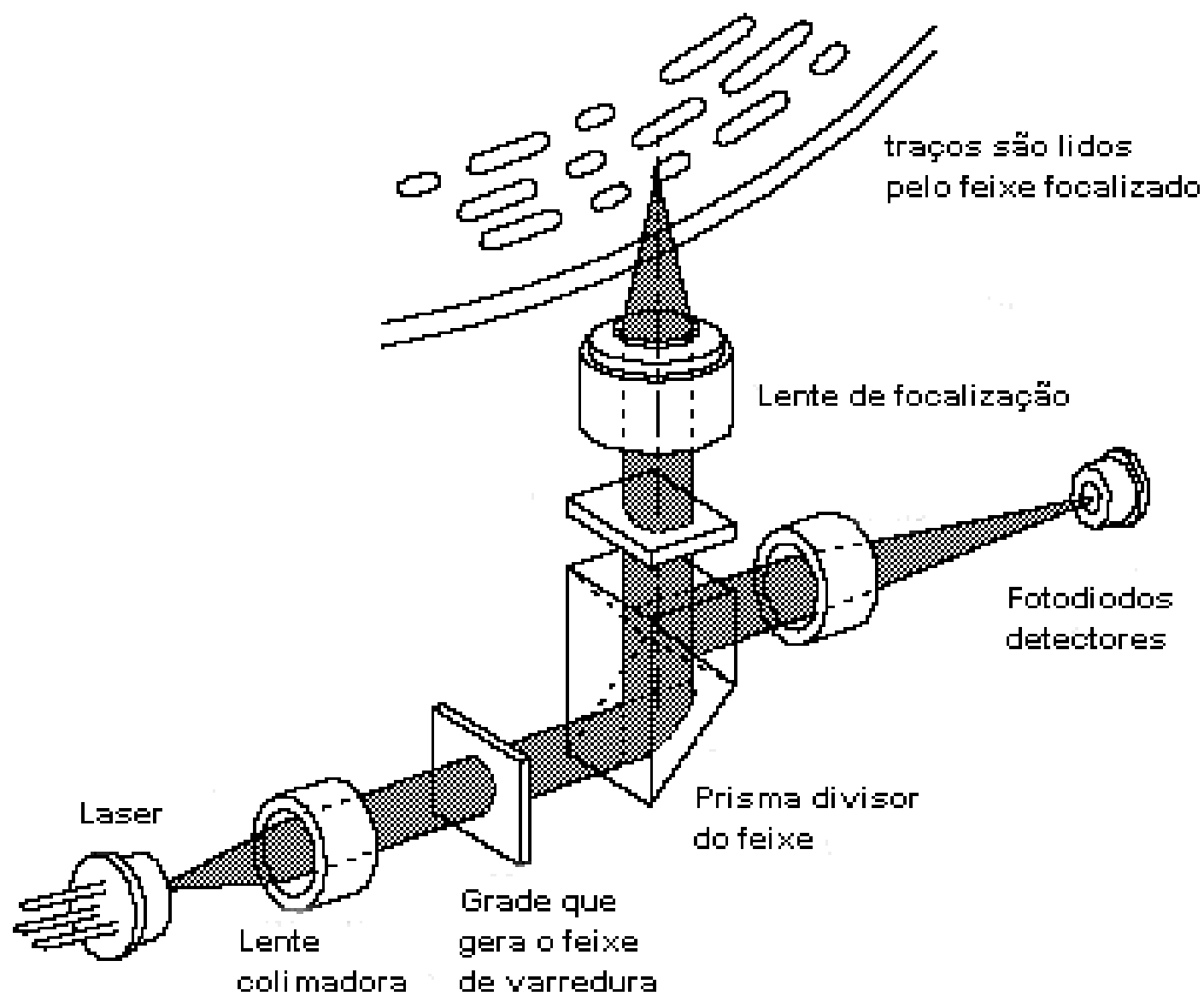
- feixe de laser incide “terra” => toda luz é refletida.
- feixe de laser ilumina “poço” => toda luz é eliminada.

A diferença de altura entre as duas partes é exatamente $\lambda/4$, e o feixe é eliminado por interferência entre o feixe refletido da superfície e o feixe refletido do poço.



Nos discos de vinil, uma agulha percorre sulcos, reproduzindo mecanicamente os sinais eletrônicos que os geraram.

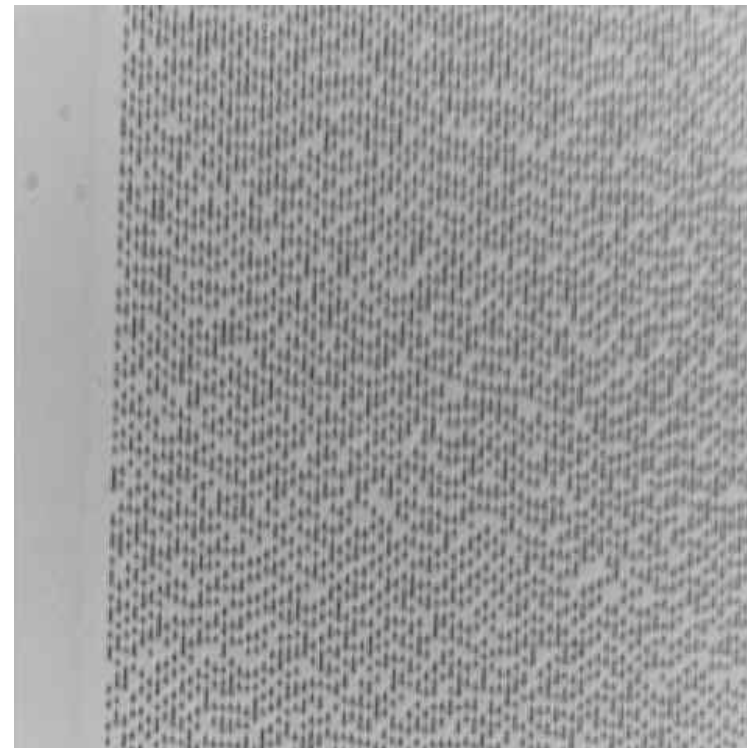
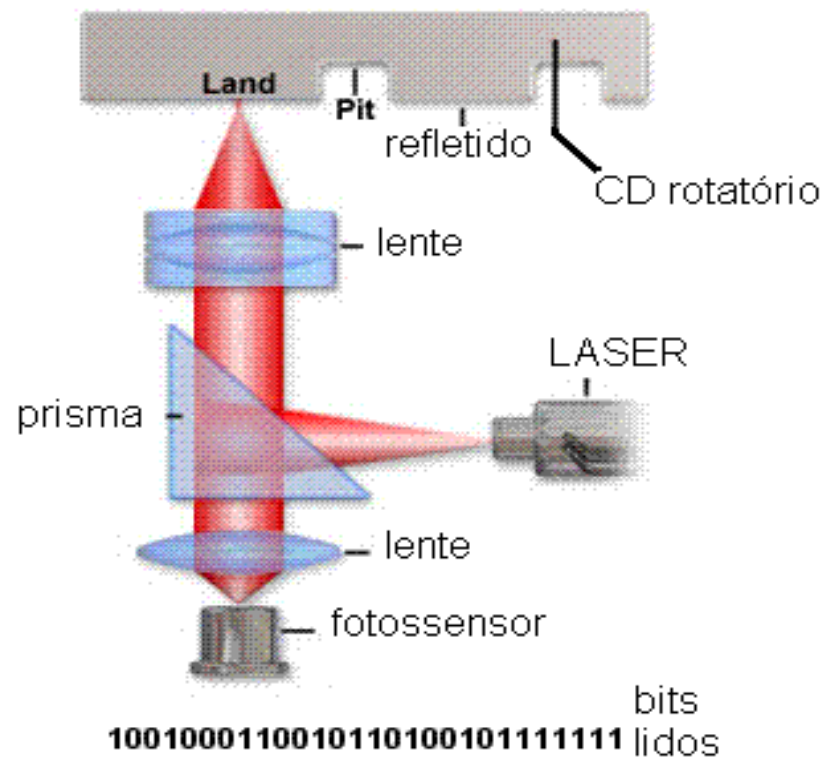
No CD, em vez de sulcos, existe uma seqüência de traços com um milésimo de largura e profundidade igual a um sexto dessa largura. **Não existe contato mecânico com esses traços:** a leitura é feita por um feixe de laser de 0,0009 mm. O feixe refletido (ou não) é dirigido a um conjunto de detectores.



Nas trilhas em espiral espaçadas de $1,6 \mu\text{m}$ no CD padrão 540 MB, o armazenamento dos dados é realizado através da seqüência de poço/terra (*pits/land*).

A velocidade de leitura padrão é constante e igual a $2,25 \text{ m/s}$ (CD \times 1, equivale a 150 kB/s).

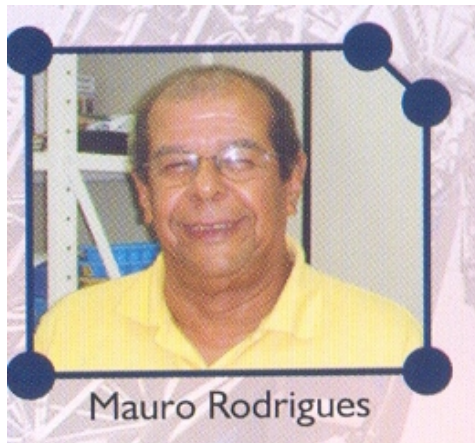
Um CD \times 32 tem uma velocidade de leitura de 72 m/s (equivale a 4.800 kB/s).



Figura– Leitor de CD. Ao incidir no CD, o laser pode ser refletido (*land*) ou espalhado (*pit*). O sinal captado no fotossensor identifica se foi armazenado 0 ou 1.

É para implementar ou analisar?

Para entender o funcionamento da gravação digital, só há tecnologia digital, e a quem recorrer?



Ora, no Prof. Mauro Rodrigues Santos...
E tomem *barramentos, registradores a deslocamento...*

Codificação 8-14 para CDs

Kees A. Schouhamer_Immink

(Código EFM – *Eighth-to-Fourteen modulation*)

Para uma leitura adequada do laser (com diâmetro de 1 μm), não deve haver mais de dois 1's consecutivos em uma trilha gravada.

A solução encontrada foi adotar um código que realiza um mapeamento de palavras de um byte em palavras fixas de quatorze bits, as quais não contêm nenhuma “carreira de 1’s” sucessivos (chamado de EFM).

EFM pertence à classe dos códigos de comprimento de corrida *Run Length Limited* (RLL);

- O espectro spectrum (densidade espectral de potência) da seqüência codificada anula-se em baixa freqüência
- O valor mínimo e máximo do número de bits consecutivos de mesmo tipo está entre limites especificados.

Devido a modulação (leia-se codificação de linha) EFM assegurar pelo menos dois zeros entre cada dois uns, ela garante que cada poço e terra acontece a cada três ciclos de relógio.

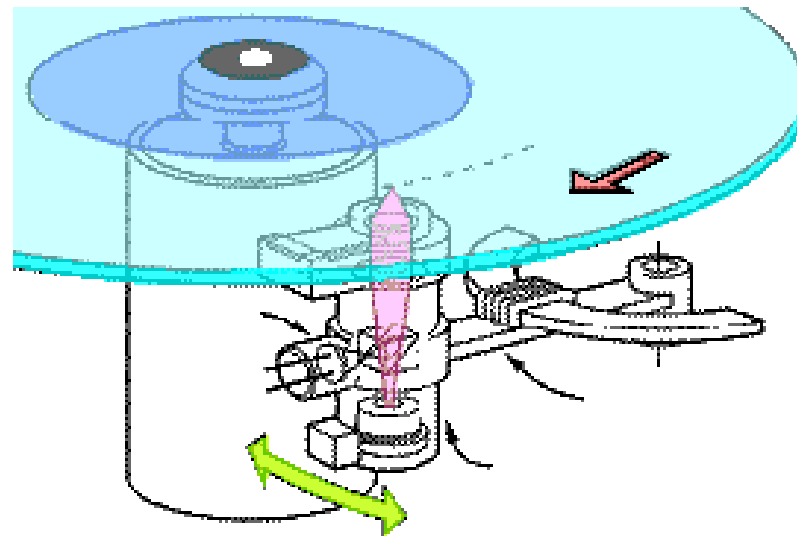
Esta propriedade é útil por reduzir a demanda do “driver” óptico the usado no mecanismo de “reprodução”. O máximo de dez zeros consecutivos assegura o pior caso de recuperação do **sincronismo** do de relógio (**quem lembra das aulas do Prof. Hélio Oliveira?**).

Trecho da tabela (*look-up Table*) EMF

10	00001010	10010001000000
11	00001011	10001001000000
12	00001100	01000001000000
13	00001101	00000001000000
14	00001110	00010001000000
15	00001111	00100001000000
16	00010000	10000000100000
17	00010001	10000010000000
18	00010010	10010010000000
19	00010011	00100000100000
20	00010100	01000010000000
21	00010101	00000010000000
22	00010110	00010010000000
23	00010111	00100010000000
24	00011000	01001000010000
25	00011001	10000000010000
26	00011010	10010000010000
27	00011011	10001000010000
28	00011100	01000000010000
29	00011101	00001000010000
30	00011110	00010000010000

Há diferentes formatos de gravação no CD padrão de 12 cm de diâmetro. Tipicamente, tem-se:

- 63 min 666,792,000
- 74 min 783,216,000
- 80 min 846,720,000



Exercício. Se a capacidade nominal de armazenamento de um CD de 4,8" (12 cm de diâmetro) é de 700 MB, quantos minutos de áudio estéreo podem ser gravados? Compare com um mini-CD (8 cm de diâmetro) de 180 B.

Solução. Cada amostra de áudio é convertida em 2 bytes
($2^{16}=65,536$ níveis de quantização).

44.100 amostras/canal/segundo \times 2 bytes/amostra=

88.200 bytes/canal/segundo,

Como a gravação é estereofônica, dois canais são usados.

$2 \times 5.292.000$ bytes/minuto.

Assim, dispõe-se de aproximadamente de $\left\lfloor \frac{783,216 \text{ M}}{2 \times 5,292 \text{ M}} \right\rfloor \approx 74$ minutos

(CD).

A inserção de um *overhead* para controle de erros reduz o espaço útil em um CD. O rendimento é aproximadamente 87%. Por exemplo, para o CD áudio de 74 minutos, tem-se aproximadamente 682 MB úteis.

São 75 blocos/segundo (4.500 blocos/minuto), totalizando 4.500 blocos/min 74 min=333 kblocos.

A gravação de áudio de DVDs.

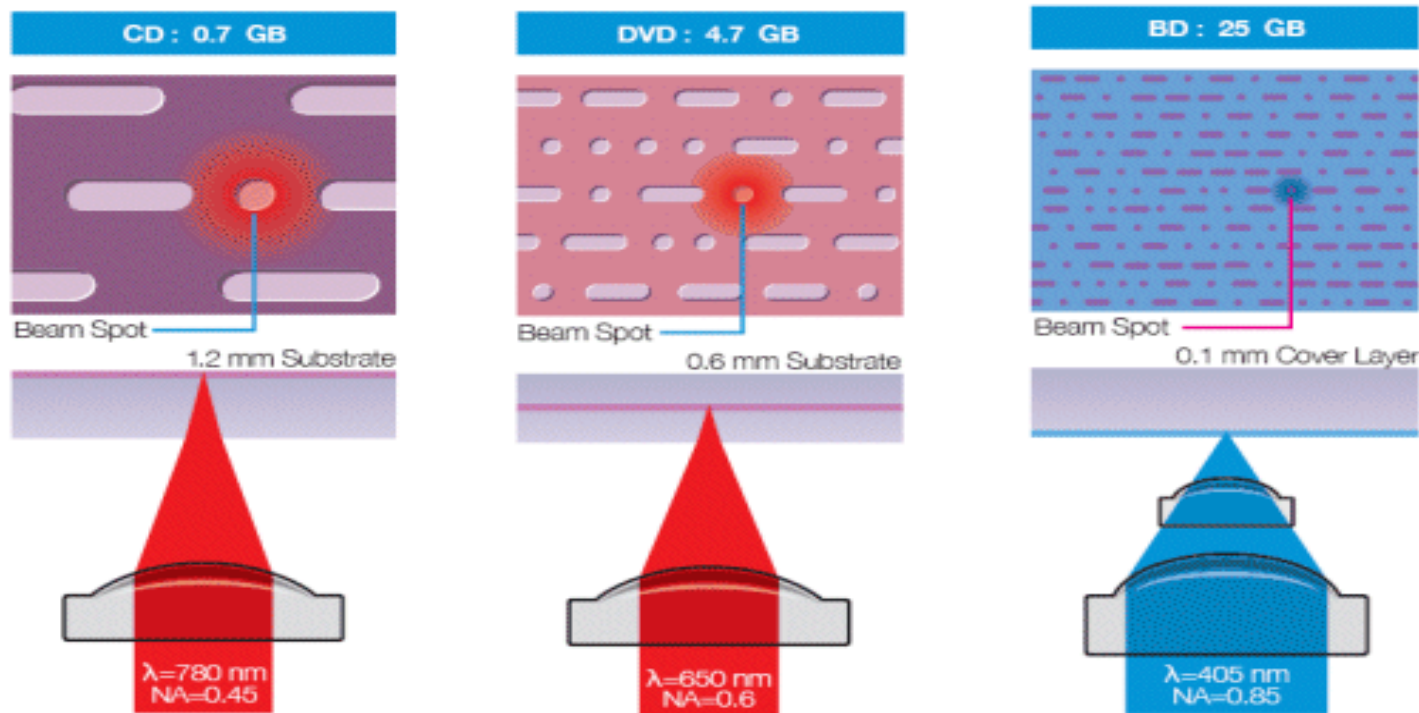
O áudio DVD armazena aproximadamente o mesmo tempo de gravação, porém com qualidade bem superior – taxa de amostragem 192 kHz e conversor de 24 bits.

Reduzindo a taxa e a precisão do conversor, os DVDs podem armazenar 2 horas de áudio em seis canais.

ou 7 horas de áudio com qualidade de CD.

Tabela – Parâmetros de gravação de áudio em CD e DVD.

especificação	áudio CD	áudio DVD
Taxa de amostragem	44,1 kHz	192 kHz
conversor	16-bit (2B)	24-bit (3B)
Níveis de quantização	65.536	16.777.216



Gravação em estéreo: 192.000 amostras/canal/segundo \times 3
bytes/amostra=

576 kbytes/canal/segundo, ou seja,

$2 \times 34,56$ Mbytes/minuto=69,12 MB/min.

(estéreo de alta qualidade)

Assim, dispõe-se de aproximadamente $\left\lfloor \frac{4,7\text{G}}{69,12\text{M}} \right\rfloor \approx 68$ minutos.

Reduzindo-se a taxa:

$$44.100 \text{ amostras/canal/segundo} \times 2 \text{ bytes/amostra} = \\ 88,2 \text{ kB/canal/segundo,}$$

Especificando a taxa:

$$44.100 \text{ amostras/canal/segundo} \times 2 \text{ bytes/amostra} = 88,2 \\ \text{ kB/canal/segundo,}$$

$$2 \times 5,292 \text{ Mbytes/minuto} = 10,584 \text{ MB/min. (estéreo padrão)}$$

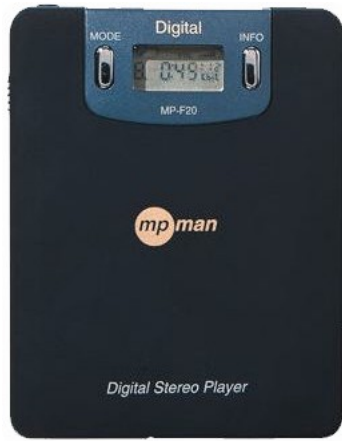
$$\text{Dispõe-se de praticamente } \left\lfloor \frac{4,7\text{G}}{10,584\text{M}} \right\rfloor \approx 444 \text{ minutos} = 7:24 \text{ h.}$$

Tabela - Tipos de qualidade de áudio na gravação de um DVD.

amostragem	44,1 kHz	48 kHz	88,2 kHz	96 kHz	176,4 kHz	192 kHz
gravação						
mono	ok	ok	ok	ok	ok	ok
estéreo	ok	ok	ok	ok	ok	ok
5.1	ok	ok	ok	ok	--	--

mp3 (áudio)

Estudos de percepção humana para sinais audíveis permitiram estabelecer os chamados “modelos psicoacústicos”. De fato, o sistema auditório não responde uniformemente na faixa audível (este fato pode ser explorado para descartar informações menos significantes ao ouvido).



1^o mp3 32MB 8 músicas- Coreia do Sul 1998
SaeHan Information Systems



mp3 2GB 2004

Os codificadores mp3 criados por engenheiros europeus:



Gesellschaft 58 Intitutos de Pesquisa !

- **Fraunhofer Society** (*Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung, Erlangen*)
- **Philips**
- **CCETT** (*Centre commun d'études de télévision et télécommunications*)
- **PCM** procura reproduzir a forma de onda do áudio

- **MP3** tenta reproduzir uma forma de onda de soar praticamente idêntica ao ouvido.

limiars de mascaramento: o ouvido humano não é capaz de perceber frequências fracas após frequências fortes. Em termos técnicos, isto é referido como “efeito de mascaramento”.

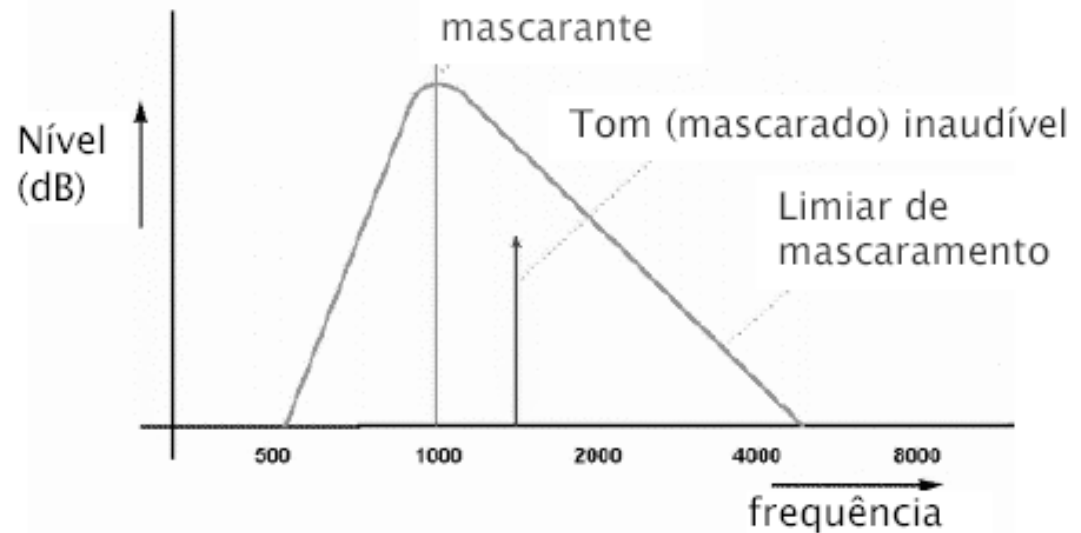
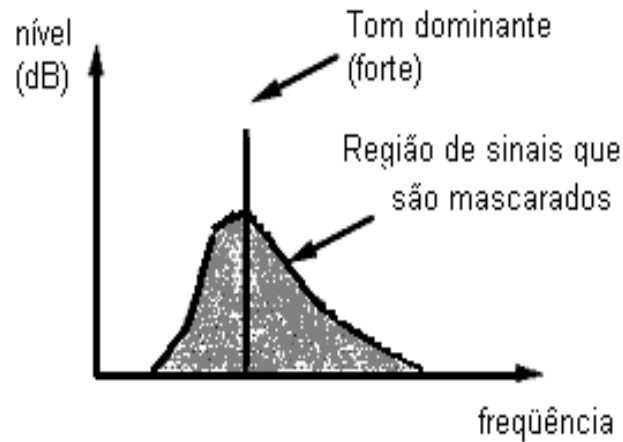


Figura - Mascaramento de áudio.

Dentro de cada sub-banda a presença de um tom dominante pode mascarar uma região de sinais mais fracos.

Uma família de padrões de compressão de áudio baseados em “codificação perceptual” é o MPEG (*Motion Picture Experts Group*, formado pela ISO em Janeiro de 1988 para criar codecs de áudio e vídeo).

Em particular, o sistema MPEG-1 é um padrão de compressão para áudio, estéreo ou mono, aprovado como padrão internacional em 1992.

Há três tipos de sistemas, com complexidade variável:

	Camada 1
MPEG-1	Camada 2
	Camada 3

O mais sofisticado deles, o sistema MPG-1 camada III é conhecido mundialmente com formato de compressão mp3 (nome simplificado).

Em MPEG (mantendo a qualidade de CD), tem-se redução de:

- **1:4** para **camada 1** (384 kbps para sinal estéreo)
- **1:6** para **camada 2** (256..192 kbps para sinal estéreo)
- **1:10** para **camada 3** (128..320 kbps para sinal estéreo)

Um arquivo MP3 criado em taxas 128 kbit/s resulta em um fator de compressão é cerca de 1:10 com relação aos arquivos de áudio comuns em CD.

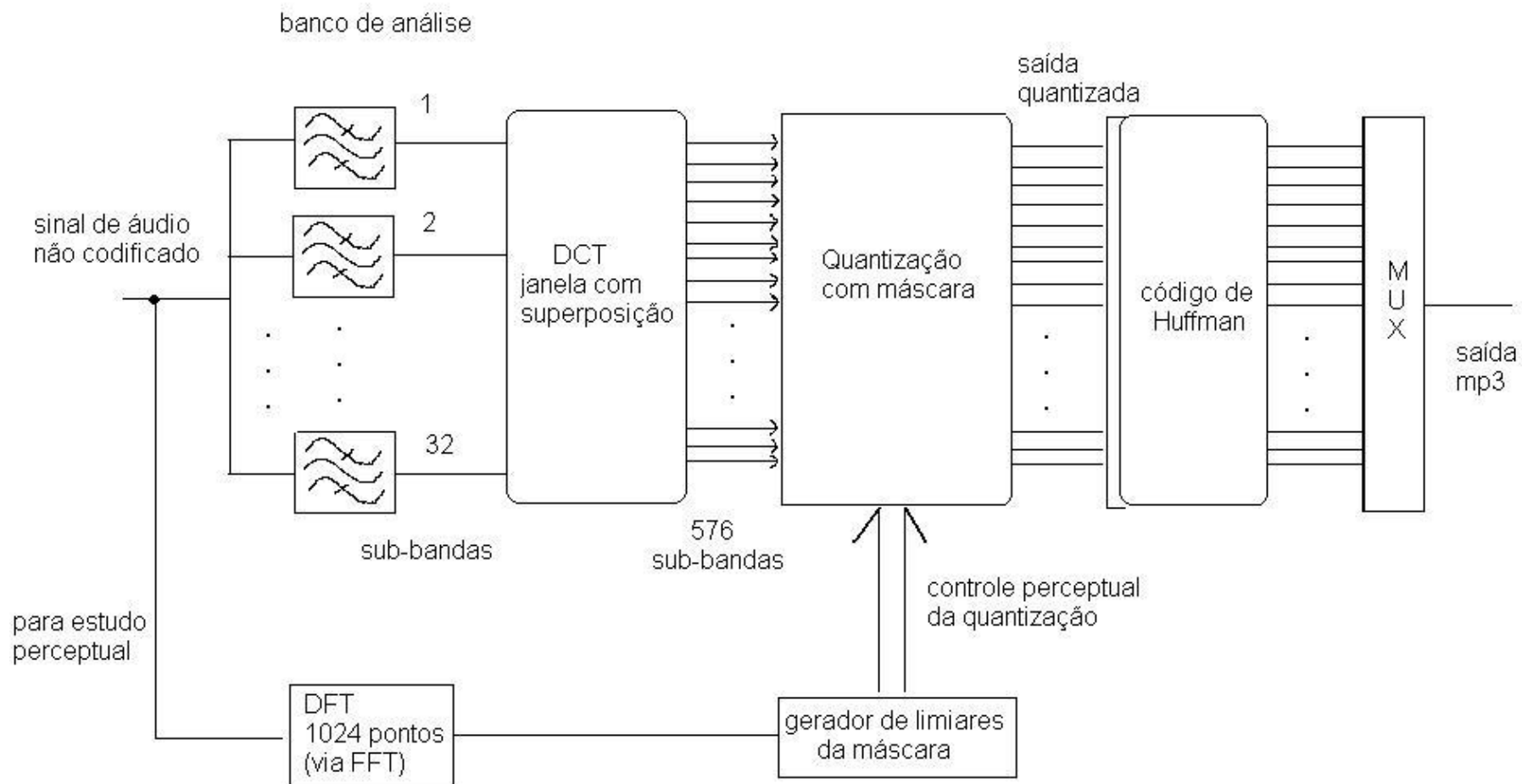


Figura – Codificador mp3.

Depois de tudo isso, fazendo uma avaliação escrita, que acertaria todas as questões?



Ora, o Engenheiro Diogo Rafael Matos Procópio...



Citação de **Douglas Engelbart**



The digital revolution is far more significant than the invention of writing or even of printing.

ESTAMOS NÓS AQUI, NESTE TEMPO!



Homens razoáveis se adaptam ao mundo. Os não razoáveis adaptam o mundo a si. Por isso todo progresso depende destes últimos. *Bernard Shaw.*

Saibam da minha emoção e reconhecimento em sermos co-participes dos passos desta jornada que se revela lentamente para cada um de vós.

O futuro, a espreita, vai delineando-se e espera por vós.

Boa caminhada em vossa porvindoura e bela profissão...

😊 OBG