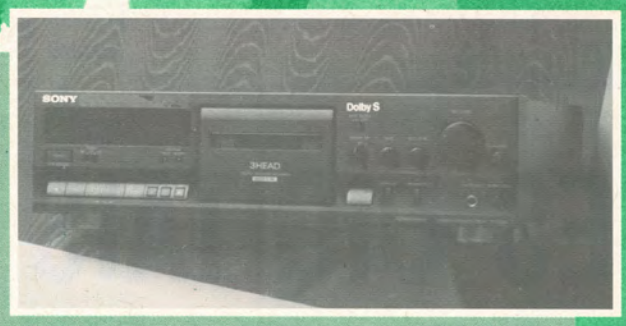
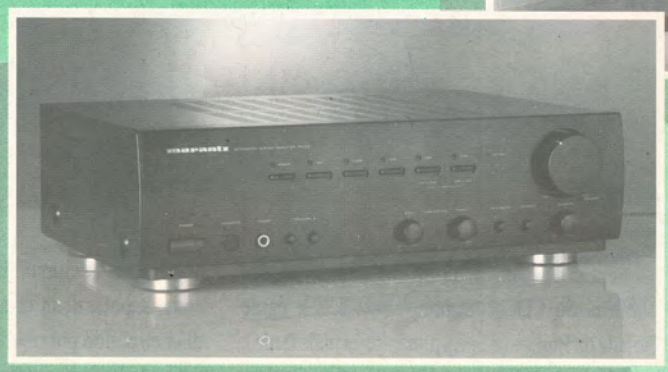


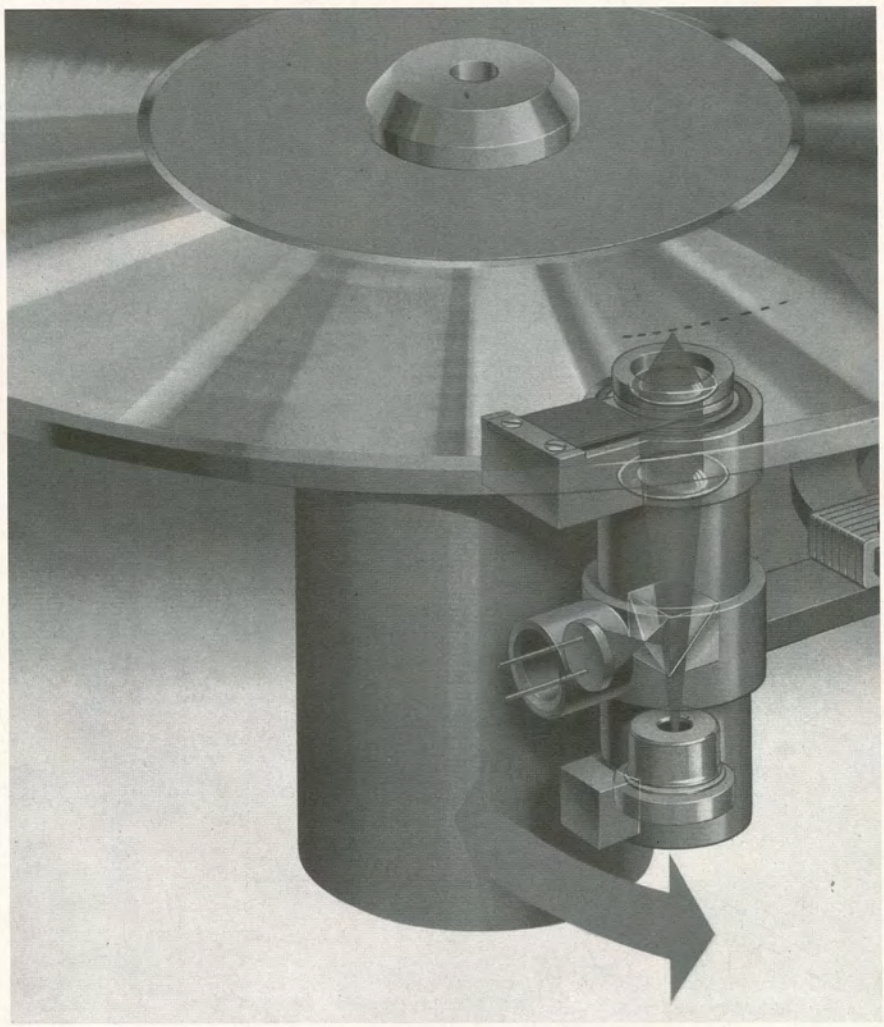


Cadernos de Alta Fidelidade (V)

FONTES DIGITAIS

Parte (V)

Jorge Gonçalves



Chegou finalmente a hora de nestes Cadernos de Alta Fidelidade falarmos sobre o áudio digital, o que poderá ser uma surpresa para muitos dos nossos leitores que não conhecem senão esse meio de armazenamento de informação. Quase que parece mentira quando pensamos que o CD, nome por que acabou por ficar internacionalmente conhecido o disco compacto que armazena essa informação digital, só foi introduzido no mercado há cerca de 12 anos. Neste intervalo de tempo os progressos foram muitos e até já houve lugar para a introdução, já lá vão oito anos, do DAT, outro formato digital que pretendia na altura substituir a cassete digital. O sucesso não foi muito grande mas o DAT ainda cá está e continua a ser para muitos (eu próprio me incluo nesse rol) um dos melhores formatos digitais. Mais recentemente apareceram outras propostas, estas pretendendo pela primeira vez, desde o início da alta fidelidade (para os que me falarem na cassete compacta tenho a resposta muito simples de que ela nunca pretendeu ser um formato de alta fidelidade, não se esqueçam que começou por ser um meio muito prático de fazer gravações de voz em reportagens e como suporte para máquinas de ditar), diminuir a quantidade de informação armazenada, sob o pretexto de que não vale a pena ela lá estar, já que nós também não a ouvimos. Mas sobre esses novos formatos (DCC e MD) falarei depois. Para já vamos ao CD.

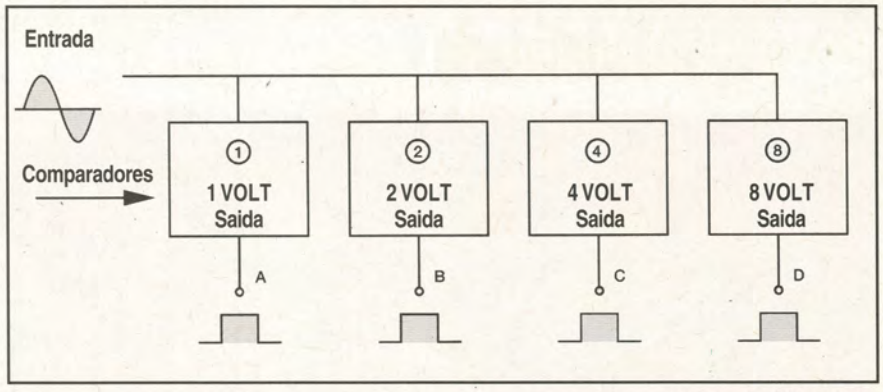
Um pouco de história

Poucos se lembrarão de que as primeiras experiências com o som digital remontam ao início dos anos setenta, tendo sido a Denon um dos primeiros fabricantes a implementar uma técnica de gravação digital. É importante citar que a BBC, famosa pelo elevado *standard* de qualidade quer em termos técnicos quer no que toca a conteúdo, das suas emissões, já efectuava ligações por feixe digital entre os seus estúdios no meio da década de setenta, ou seja, há vinte anos!

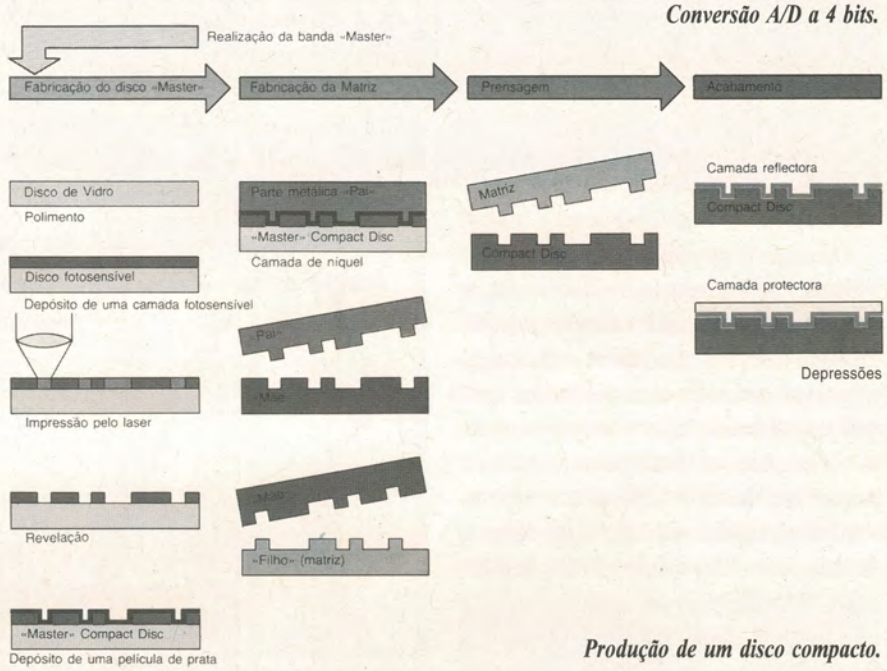
Seja como for, as primeiras demonstrações públicas do CD ocorreram, ainda sob a égide isolada da Philips (a Sony juntar-se-ia mais tarde), em Março de 1979, embora esta versão inicial do disco digital tivesse dimensões ligeiramente diferentes (4,5 polegadas, ou cerca de 11,4 cm) e apenas tivesse uma resolução de 14 bits. Para além disso, era necessária uma parafernália de equipamento electrónico verdadeiramente assustadora para processar a informação contida no disco. Foi então, já em 1980, que a Philips e a Sony deram as mãos e resolveram aperfeiçoar o sistema em conjunto. Ficou, assim, normalizado como suporte de informação o disco de 12 cm de diâmetro, lido por um feixe laser, rodando a uma velocidade linear e com codificação de informação em palavras de 16 bits, isto a uma frequência de amostragem (já veremos o que é isto) de 44,1 kHz. Essa informação é armazenada no disco sob a forma de uma espiral de pequenas depressões (buracos) ou elevações (na prática ausência de depressões) gravada numa superfície de alumínio extremamente fina coberta posteriormente por uma camada de policarbonato transparente, ou

seja, o famoso disco prateado que hoje todos os dia manipulamos. A contribuição da Sony, nessa altura, concentrou-se fundamentalmente no desenvolvimento do sofisticado sistema de correcção de erros, necessário para evitar que as partículas de pó que inevitavelmente se acumulam a superfície do disco dessem origem a erros de leitura. A informação é lida do disco por meio de um feixe laser emitido por um díodo próprio existente nos sistema de leitura do leitor de CDs e reflectido de volta pela camada de alumínio.

Ao longo do ano de 1980 assistiu-se a uma sessão de charme da Philips e da Sony junto dos grandes fabricantes, principalmente dos japoneses (não se esqueçam de que a JVC, controlada pela Matsushita, tinha uma proposta alternativa ao CD, sob a forma do AHD), tendo-se finalmente assistido ao aparecimento europeu do formato no Festival du Son de Paris, nos inícios de 1982. Reparem que eu digo aparecimento, pois não foi realmente mais que uma pré-apresentação, baseada em maquetes (*mock-ups*) dos produtos finais, já que nessa altura os laboratórios da Philips e da Sony estavam ainda afanosamente desenvolvendo os CIs (conversores D/A, desmoduldaores, etc.) necessários para o leitor de CDs. As especificações do CD eram as constantes do livro vermelho, apresentado pela Philips e pela Sony, e eram impressionantes: largura de banda de 2 a 20 000 Hz, gama dinâmica de 96 dB, relação sinal/ruído superior a 100 dB.



Conversão A/D a 4 bits.



Produção de um disco compacto.

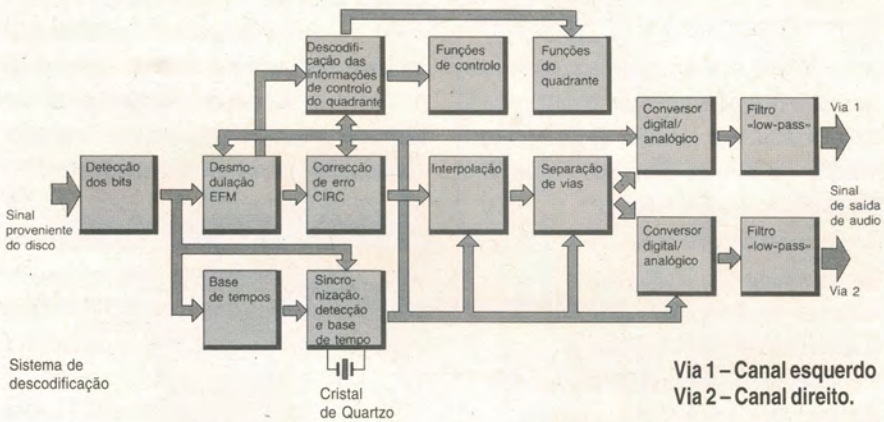
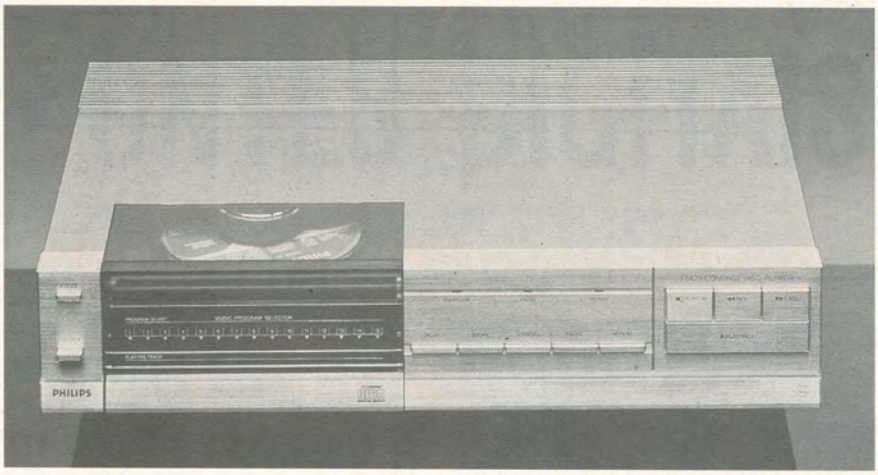


Diagrama de blocos de um leitor de CDs.

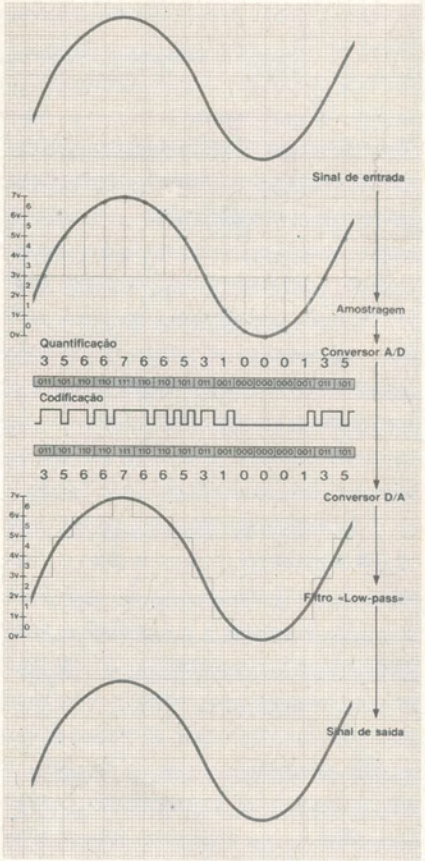
O que é um disco compacto

Um disco compacto armazena a informação sob forma digital, isso já todos nós sabemos, mas o que é um formato digital? A palavra digital baseia-se no facto de os circuitos que trabalham (processam) e tratam a informação utilizarem técnicas digitais, ou seja, só aceitam sinais que tenham dois estados possíveis: 0 ou 1, ou seja, sim ou não, ou estão ou não estão. Mas as grandezas que nós conhecemos na vida do dia-a-dia são todas analógicas, isto é, podem ter uma infinidade de valores, o que complica um pouco as coisas. Com efeito, pensemos no que seria o mundo se apenas fosse possível existirem pessoas altas (por exemplo, todas com 1,8 metros) ou baixas (todas com 1,5 metros), gordas (todas com o mesmo peso) ou magras (todas novamente com o mesmo peso), etc. Seria pouco prático, monótono, enfim não me parece que tivéssemos uma vida muito feliz. Se pensarmos em termos das variações dinâmicas (de volume/amplitude) de um sinal musical, vemos imediatamente que ele varia constantemente no tempo, ou seja, ora soa alto, ora baixo, com uma infinidade de valores intermédios. É manifestamente impossível traduzir estas variações em termos de sim ou não, mas, se tivéssemos alguém de lápis na mão, com uma grande velocidade de trabalho e que conseguisse tomar nota de todos os valores instantâneos do sinal e mais tarde aplicássemos esses valores a um circuito electrónico que transformasse os números escritos em sinais eléctricos com uma amplitude correspondente ao valor de que o observador tinha tomado nota, então, se esse observador conseguisse ser suficientemente rápido, poderíamos ter na nossa frente uma versão bastante fiel do sinal orginal.

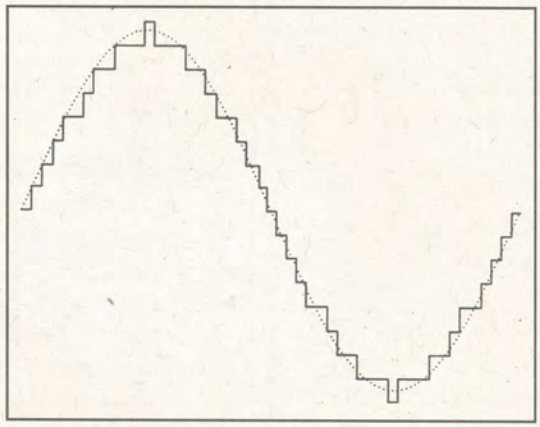


Quem se lembra ainda do CD300 da Philips?

O problema é que o operador teria de ser muito rápido, principalmente nos sinais de frequência mais elevada (20 kHz) e, além disso, poderia não conseguir tomar nota dos valores com precisão suficiente. É por isso que na conversão de um sinal de analógico para digital se utilizam palavras de 16 bits (pensemos nos bits como uma medida da precisão com que se consegue saber o valor do sinal) e se utiliza uma velocidade rápida de visionamento (conversão) do sinal – 44,1 kHz. O



Percurso de um sinal digital, armazenado num CD e devolvido depois à forma original.

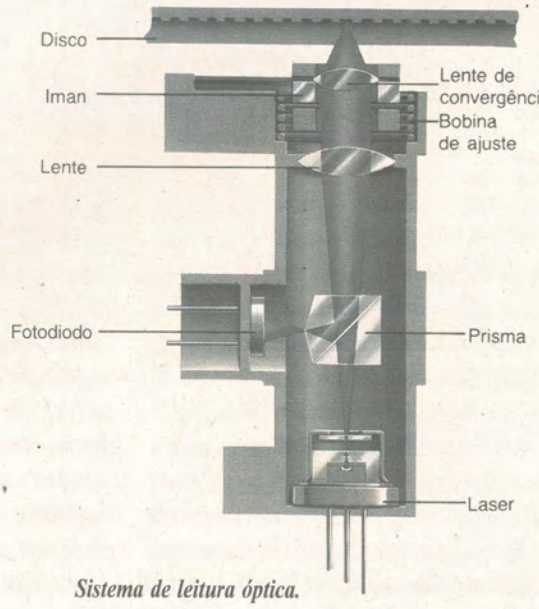


Reconstituição de um sinal sinusoidal a partir das amostras.

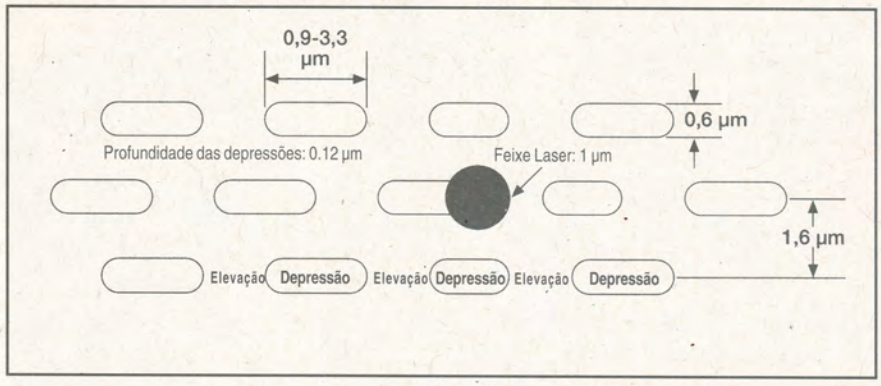
senhor Nyquist, nos idos anos trinta, estabeleceu um critério (o famoso critério de Nyquist, podia lá ser outra coisa?) que especifica que para se poder amostrar um sinal de uma dada frequência é necessário fazê-lo a uma velocidade pelo menos dupla da de descrição do sinal, o que implica, em termos de frequência, que temos de utilizar uma frequência de amostragem de, pelo menos, 40 kHz para tratar um sinal de 20 kHz.

São estas variações digitais que são gravadas no CD, juntamente com um código de identificação para se saber a que amostragem e que canal pertencem e que, em simultâneo, permite eliminar a maioria dos erros de leitura (um bom leitor de CDs consegue compensar falhas de leitura equivalentes a um comprimento de 2 mm no disco, um valor de grande significado se tivermos em conta que um bit de informação ocupa algo como entre 1 e 2,5 µm de espaço no disco). Uma falha de 2 mm pode, assim, corresponder a uma perda de informação de 1000 ou mais bits, o que é significativo.

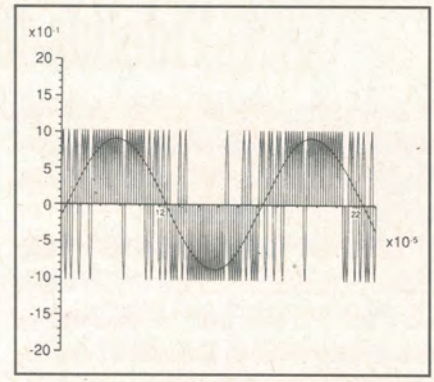
Esquematicamente, então um leitor de CDs necessita de ter um sistema de transporte, que aceita o CD, fá-lo rodar a uma velocidade linear constante (como o CD contém mais informação nas espirais situadas na periferia que nas que se encontram perto do centro a velocidade de rotação angular varia desde as 300 até cerca de 500 rpm, isto para se poder assegurar que a informação captada pelo feixe laser durante um determinado intervalo de tempo é a mesma, quer o feixe esteja a incidir no meio, no princípio ou no fim do disco) e retira do disco, pelas modulações resultantes no feixe laser, a informação sob a forma de um fluxo permanente de dados digitais. Estes dados são posteriormente aplicados a um desmodulador de dados, o qual separa os dados uns dos outros e procede à correcção de erros de leitura. A este desmodulador segue-se um filtro digital que limita a largura de banda dos sinais aplicados ao conversor D/A para evitar a geração de ruídos prejudiciais, que são altamente desagradáveis em si e ainda por cima diminuem a precisão do processo de conversão. Na saída da maioria dos conversores, que fornecem uma corrente de saída e não uma tensão, existe um conversor corrente/tensão, se-



Sistema de leitura óptica.

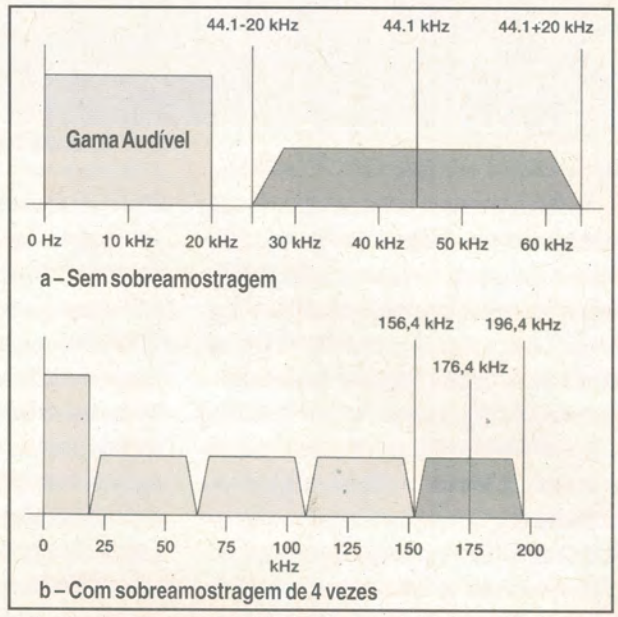


O feixe do laser incide sobre as depressões do disco.



Sinal de saida de um conversor Bitstream.

guido de um filtro que limita a banda do sinal analógico de saída (eliminando os artefactos digitais gerados durante o processo de conversão D/A) e de amplificadores analógicos (finalmente) que levam o sinal até às fichas RCA de saída. Para além destas saídas analógicas, que podem ser de nível variável ou fixo (2 V é o nível normalizado para o sinal de saída de um CD, embora haja quem utilize 3, 4 ou mesmo 8 V), muitos leitores de CDs possuem saídas digitais sob a forma de uma ficha RCA convencional (este é um tipo de conector perfeitamente desajustado para este fim, mas o que querem?, é barato e tornou-se quase universal – ainda por cima pode confundir-se com as saídas de sinal analógico) ou de uma ficha BNC (esta sim, perfeita para este fim mas muito menos utilizada). Estas saídas têm o nome de coaxiais eléctricas, embora existam também as saídas ópticas (os fabricantes japoneses praticamente só utilizam este tipo de saídas nos seus leitores actuais, excepto num ou noutro topo de gama)



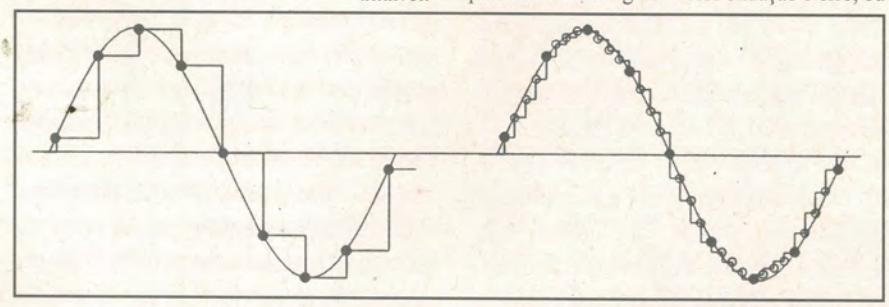
A sobreamostragem seguida de filtragem, afasta o ruído da gama audível.

Dos 14 bits até ao bit único

Os primeiros leitores de CDs lançados no mercado nos finais de 1982 possuíam apenas conversores de 14 bits pois, por razões técnicas, não era na altura fácil construir conversores com uma precisão de 16 bits. Perante os protestos provenientes de diversos sectores, os fabricantes resolveram assim introduzir rapidamente duas modificações no sistema de funcionamento dos conversorses: a primeira foi introduzir a sobreamostragem, e a segunda o *dither*.

banda de 20 kHz possível de armazenar num CD mas sim de maneira uniforme ao longo de 4 vezes 44,1 kHz, ou seja, 176,4 kHz. Claro que a energia contida na banda audível diminui de maneira sensível, o que só pode melhorar a relação sinal/ruído.

O *dither* não é mais que ruído aleatório de banda larga, semelhante ao ruído de fundo emanado por muitos altifalantes e presente na saída dos microfones e destina-se a produzir um sinal audível inócuo que substitui os sinais digitais, muito mais perniciosos, gerados na zona em que o conversor tem de trabalhar com sinais de muito pequena amplitude. Com efeito, independentemente do maior ou menor valor numérico utilizado para representar um sinal, existe um limite inferior abaixo do qual as variações desse sinal são demasiado pequenas para serem representadas por um número digital. Nessa situação o erro, ou



A sobreamostragem melhora a resolução.

A sobreamostragem consiste na criação artificial, normalmente implementada no filtro digital que antecede o conversor, de amostras intercalares, de modo a distribuir a energia contida no ruído inerente ao processo de conversão, por um espectro mais alargado de frequências, afastando-o assim mais da banda audível (também se pode dizer que se aumenta a precisão do processo de conversão mas, como esses novos valores são calculados e não existiam no sinal inicial, a validade desta afirmação é muito relativa). O ruído fica assim distribuído, no caso de uma sobreamostragem de 4 vezes, não ao longo da largura de

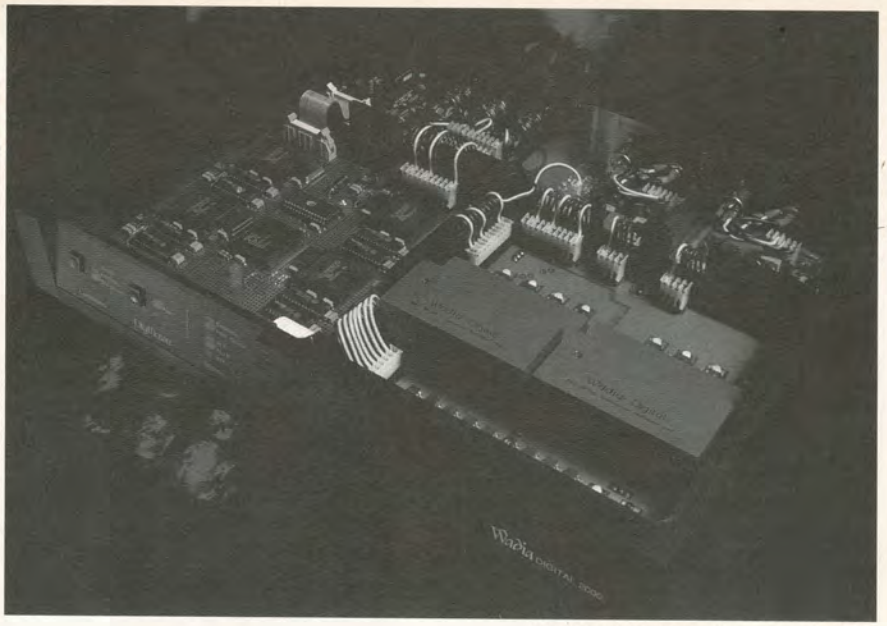
distorção, introduzido pelo processo de conversão, assume um valor tão importante que se sobrepõe ao valor do próprio sinal codificado. Para tornar esta distorção de quantificação totalmente inaudível ter-se-ia de utilizar uma resolução da ordem dos 20 bits no processo de amostragem e no de conversão, o que na altura estava completamente fora de questão. A adição do *dither* permite eliminar totalmente as pequenas distorções de conversão para sinais de nível reduzido, possuindo ainda a vantagem de tornar possível ouvir sinais de amplitude extremamente reduzida e que de outro modo seriam impossíveis

de detectar. É como que um sinal inofensivo que está sempre a dar trabalho ao conversor, permitindo que pelas malhas passem os sinais pequeninos que de outro modo se perderiam.

No início, o *software* lançado (esta é uma história ciclicamente repetida, as editoras de *software* têm o irritante hábito de considerar os consumidores surdos ou ignorantes e fornecem-lhes apenas aquilo que elas próprias consideram como o mínimo aceitável, julgando sempre que isso é mais que suficiente. Aconteceu isto no vinilo, nas cassetes pré-gravadas, no CD, no DC, no MD, etc.) era muito mau, resultado principalmente de uma grande inexperiência não só nas captações de material novo como na conversão de material já existente na forma analógica. As coisas melhoraram rapidamente, no entanto, e não tardou que os conversores de 16 bits fossem a norma nos leitores de CDs.

Os conversores de 16 bits permitem aproveitar ao máximo os 16 bits de informação contidos nos CDS, podendo resolver 2^{16} níveis de sinal representativos do sinal analógico original – um total de 65 536 níveis. Uma palavra de 16 bits pode, portanto, gerar 65 536 palavras binárias diferentes, funcionando a maioria dos conversores *multibit* segundo a técnica das fontes de corrente, ou seja, existem no seu interior 16 geradores de corrente, cada um com uma corrente igual a metade do anterior, até que o último gera uma corrente 1/16 mais pequena que o primeiro. À informação correspondente ao gerador que gera a maior corrente chama-se o MSB (bit mais significativo) e ao último o LSB (bit menos significativo). O valor mínimo de corrente que um conversor D/A pode gerar é então 0 e o máximo *I* (na realidade é *I-I*/65536, mas isso não é significativo). Como a música é um sinal de forma alternada (tem valores alternadamente positivos e negativos), o nível «zero» do sinal musical irá ficar a meio caminho entre o máximo e o mínimo, ou seja, aproximadamente *I*/2.

A precisão com que cada uma das correntes pode ser gerada constitui o ponto crucial de todo o processo de conversão e foi isso que impediu que os primeiros conversores não tivessem mais que 14 bits. A técnica que inicialmente se utilizou para conseguir valores o mais exactos possíveis nestas correntes, as quais, mais à frente no processo de conversão, serão convertidas, num conversor corrente/tensão, no sinal analógico de saída, foi o ajuste das resistências definidoras dos níveis de corrente por meio de raios laser. Este processo permite obter resistências de uma precisão extrema mas não tem em conta as variações de longo prazo, resultantes, por exemplo, do envelhecimento ou da temperatura. No TDA 1514, um conversor de grande qualidade que marcou o processo de viragem para os leitores de CDs de alto nível e que ainda hoje é muito utilizado em conversores e leitores de CDs actuais, a Philips utiliza uma técnica apelidada de «emparelhamento dinâmico» (DEM) que implementa uma verificação permanente (dinâmica) dos valores das correntes, efectuando as correcções necessárias.



Wadia 2000, State of the Art em 1989.

Outra solução que se seguiu, foi a utilização de conversores D/A de 18, 20, 22 ou mesmo 24 bits. Embora estes componentes nunca possam exceder a precisão de 16 bits inerente ao disco compacto em si, os seus utilizadores pretendem simular com eles um funcionamento perfeito a 16 bits. A filosofia é que assim se tornam praticamente desprezáveis os pequenos erros de conversão que ocorrem nos conversores de 16 bits já que, por cada bit a mais, se dividem por dois esses erros.

Mais tarde apareceram os conversores de bit único, dos quais os mais conhecidos são o Bitstream da Philips, o MASH, da Matsushita e o Bit Pulse, da Sony. Todos eles se baseiam numa técnica de conversão radicalmente diferente das que acabei de descrever, mas que não varia muito entre estes três fabricantes, por isso vou utilizar, como exemplo de uma técnica de um só bit, a descrição do modo de funcionamento do Bitstream.

O Bitsream é uma tecnologia de conversão D/A de alta velocidade, que utiliza um só bit e emprega técnicas de formatação de ruído *(Noise Shaping)*. Neste tipo de conversores o sinal digital, com uma frequência de amostragem de 44,1 kHz, é primeiro convertido num fluxo de dados permanente *(Bitstream)* com 1 bit e uma frequência de 11,2896 MHz, ou seja, efectua-se uma sobreamostragem de 256 vezes.

O conversor utilizado no sistema Bitstream tem apenas dois níveis possíveis na saída (0 ou 1). Só se torna, então, necessária uma única fonte de corrente, o que elimina os problemas derivados de um equilíbrio exacto das múltiplas fontes de corrente, situação esta que não se pode evitar com conversores multibit. O problema da distorção de *crossover*, provocado no caso de um conversor multibit pela geração de níveis não exactos das correntes correspondentes a cada bit, fica também resolvido com este sistema Bitstream.

O sinal de saída é um fluxo de dados codificados, com maior ou menor tendência para permanecerem acima ou abaixo do zero (valor médio), pelo que a média de todas estas amostragens sucessivas do fluxo de dados de alta velocidade reproduz o nível de saída pretendido. A frequência de amostragem extremamente elevada, e que pode atingir 50 MHz no Bit Pulse da Sony, implica que qualquer nível de saída pode ser representado com uma grande resolução num espaço de tempo muito curto.

O primeiro CI conversor Bitstream lançado pela Philips foi o SAA 7320, logo seguido do 7320 e do 7323 (hoje em dia já praticamente só se utiliza o 7350, um conversor do tipo diferencial, ou seja, que converte simultaneamente uma versão normal e uma versão invertida do fluxo de dados de cada canal).

Embora nunca tenha sido apresentada como tal, a tecnologia de bit único não é mais que uma tecnologia que permite embaratecer de maneira vincada (fica tudo dentro de um *chip* só, conversor

Mark Levinson N.º 30.5, State of the Art em 1995.

e filtro digital) a construção dos leitores de CDs. Não é que isso seja negativo, antes pelo contrário, o que é importante é frisar que o bit único nunca pretendeu superar o multibit de maneira definitiva em termos técnicos. Claro que acabou, por razões económicas, por colocar este quase na prateleira, mas isso é outra história. Também o CD não pretendia acabar com o vinilo e foi o que se viu.

Já no final da década de oitenta, começou a moda dos conversores separados que pretendiam, fazendo uso do facto de muitos leitores de CDs possuírem uma saída digital, melhorar de maneira visível (audível) a qualidade do som, refinando o mais possível um dos elos da cadeia de processamento, o conversor analógico/digital. Várias técnicas foram utilizadas nesse refinamento, começando pela utilização de conversores idênticos aos utilizados nos leitores de CDs convencionais mas em versões seleccionadas (o TDA 1514 A Crown foi famoso por muito tempo por esse tipo de utilização) e acabando no desenvolvimento de técnicas próprias de conversão. Nesse campo a Wadia, com os seus «computadores» para processamento D/A, foi um dos pioneiros, bem como o foi ao nível da introdução da interface óptica AT&T no domínio dos leitores de CDs.

Com efeito, a fibra óptica, embora se tornasse um pouco mais do domínio comum com a rápida divulgação das saídas ópticas digitais nos CDs, era há seis anos, altura em que a Wadia começou a utilizá-la, pertença praticamente só do campo das telecomunicações. Foi aí que se desenvolveram os conectores de ligação óptica mais sofisticados, inicialmente todos em metal (tinham mesmo o nome de *férrulas*, em inglês) e que permitiam uma ligação de grande qualidade (sem perdas de sinal) entre cabos (fibras) ópticos. A ficha TOSlink, desenvolvida mais tarde pela Toshiba, é um parente pobre destas férrulas, que acabaram por ficar mais conhecidas por fichas AT&T devido ao nome da empresa que as criou, e possui, quer pelo facto de ter uma tolerância de dimensões pouco exigente, bem ainda como por a ela se associar um circuito de conversão elécrico-óptico de baixa qualidade (a largura de banda máxima não atinge os 10 MHz) uma baixa qualidade de transmissão de sinal. Perante isto, a Wadia resolveu transportar para o mercado de consumo as especificações mais altas das ligações AT&T (com larguras de banda superiores a 100 MHz), desenvolvendo em simultâneo processos próprios de conversão. A estes conversores a Wadia chamou computadores, baseada certamente no facto de eles não utilizarem CIs conversores D/A convencionais fabricados por este ou aquele, mas sim processadores de sinal extremamente poderosos, desenvolvidos especialmente para as técnicas DSP, juntamente com *software* de controlo desenvolvido «em casa». Com este *software* é possível implementar todas as funções de um conversor D/A tradicional, mas agora de acordo com leis e condições estabelecidas externamente. Tudo, desde a filtragem à conversão, é controlado por *software*, sendo assim possível, à vontade do projectista, definir frequências de sobreamostragem, velocidades de conversão, número de bits de resolução, etc. Embora exija ferramentas de apoio extremamente poderosas e engenheiros que têm de saber muito bem o que estão a fazer, este é o processo de conversão que potencialmente permite obter melhores resultados, devido à sua versatilidade. É mesmo possível proceder a *upgrades* apenas pela mudança do *chip* que contém o *software*.

Dos conversores separados aos CDs de alta densidade

A «moda» dos conversores separados deu origem a uma outra, a dos transportes ou sistemas de transportes, que são no fundo algo como que leitores de CDs «despidos» da secção de conversão D/A e com o sistema de transporte/leitura optimizado em termos electrónicos e mecânicos.

Diversos fabricantes investiram nos conversores separados, nomeadamente a Deltec/DPA, Meridian, Roksan, QED (no caso dos ingleses); a Theta, Wadia, CAL, EAD, Madrigal, e muitos outros destas e doutras origens. Uns utilizaram sistemas de conversão próprios como no caso, já citado, da Wadia, outros recorreram a conversores produzidos por fabricantes especializados nesta área – Crystal, Burr Brown, Analog Devices, PMI, et. Os resultados finais variam bastante de caso para caso (a tecnologia digital, devido a encontrar-se ainda a entrar na adolescência, está sujeita a um ritmo de mudanças e melhorias perfeitamente alucinante), mas, pode dizer-se que quase toda a gente, desde os maiores aos mais pequenos, desde os fabricantes de massas aos de *high-end*, está nesta zona do mercado. Os transportes e leitores separados tornaram-se quase uma especialidade própria e justificam mesmo um tratamento mais alargado do que o que disponho no espaço que me resta, por isso vou deixá-los para mais tarde, até porque não posso abordar este tema sem falar noutro «culto» importante que se criou em volta deles e que é o da escolha do melhor cabo ou tipo de ligação digital: AT&T, coaxial, AES/EBU, fibra de quartzo polida desta ou daquela maneira, cabo coaxial com 75 ohm exactos, etc. O mesmo se passa com os formatos digitais que utilizam a compressão/redução de dados, os quais, para além das abordagens que serão feitas, sempre que se julgue oportuno, nas outras secções da *Audio*, voltarão aqui num dos *Cadernos de Alta Fidelidade* futuros. Tratamento especial merecem também as novas propostas em termos de CDs de alta densidade (a Pioneer apresentou recentemente o que eles designam por «Super CD», com uma resolução de 20 bits, largura de banda de 0 a 40 kHz e capacidade para quatro canais em vez de dois, mas é ainda um pouco cedo para se falar sobre isso; a Philips e a Sony anunciaram um HDCD com uma capacidade de armazenamento de 3,7 gigabytes, contra os cerca de 600 do CD actual) feitas pela Philips/Sony (*together again*) e pela Pioneer mas aí num artigo que sairá em breve na *Audio*. Aproveito, aliás, para desvendar que esta análise mais ou menos técnica dos equipamentos e formatos está quase concluída, ficando assim aberto o caminho para uma nova série da artigos a publicar nos *Cadernos* sobre conselhos de aquisição e utilização, compatibilização, acessórios, cuidados de manutenção, etc. Até lá, como sempre, boas audições.

JG

AUDIO