

RS232

Fanzine de devaneios filosóficos e científicos – número 04, 06/2003

“O padrão RS-232 é uma convenção para transmissão em dois sentidos de dados seriais assíncronos” – PETER NORTON

√EDITORIAL

Depois de mais um período muuuuito longo sem publicar nenhum zine, finalmente criamos vergonha na cara, e aqui está o **RS232** número 4!

Um dos motivos para eu ter parado de escrever em papel é que eu tenho escrito muito mais em mídias eletrônicas, em especial no meu *blog*, que se encontra no URL <http://lifo.blogspot.com>.

A Idéia era escrever lá as idéias e depois desenvolvê-las no zine, mas acabou que eu não tive mais tempo, e o zine ficou congelado. Recentemente andei escrevendo pra zines de amigos meus – todos eletrônicos também – e agora que juntei alguns textos grandes e bacanas resolvi compilar tudo numa edição!

O visual ainda é o mesmo: a velha bula de remédio de 8 páginas, para o bem ou para o mal. Como a própria ciência, que existe para o bem ou para o mal, e como a própria vida que não possui felicidades ou tristezas intrínsecas! A comparação é forçada, mas é fato que o **RS232** nunca se propôs a ser uma instrumento anatômico, um projeto bem-feito de desenho gráfico. Nosso propósito é ser uma dose de questionamentos, de desafio.

Somos um desafio fácil, que você pode empreender apenas pra não perder o costume de se lembrar como que o universo é um lugar com características próprias, um lugar que não foi criado com a intenção de servir aos humanos. Estamos aqui para te lembrar de que no jogo da existência são os humanos que são flexíveis, e não as regras.

Nesta edição tem um artigo sobre um livro

que eu ainda não li, do cara que fez o *Mathematica*. Na verdade é um artigo sobre história da ciência disfarçado... Também tem um sobre a história da guitarra elétrica... (Na verdade é sobre a engenharia elétrica como um todo! :))

Esperamos que você goste, e que nossas palavras lhe abram as portas da percepção. Esta edição é dedicada a: Marina, Ana Amélia, Nix, Helena, Daniel, Carina, Luiz Flávio e todo o mundo mais que já me fez achar que escrever não era uma completa perda de tempo! :) Até mais...

++n1c01au;

<nwerneck@cefala.org>

√FRASES

“Ausência de evidência não é evidência de ausência”
– Carl Sagan

“A busca da verdade deve ser o objetivo de nossa atividade; é o único fim digno dela. Não há dúvida de que devemos nos esforçar por aliviar os sofrimentos humanos, mas por quê? Não sofrer é um ideal negativo que seria atingido mais seguramente com o aniquilamento do mundo. Se cada vez mais queremos libertar o homem das preocupações materiais, é para que ele possa empregar no estudo e na contemplação da verdade sua liberdade reconquistada.”

– Jules-Henri Poincaré

“A grande tragédia da ciência — a morte de uma bela hipótese por um fato hediondo.”
– Thomas Huxley

SOBRE A RELATIVIDADE GERAL:

“O espaço diz para a massa como se mover. A massa diz para o espaço como se curvar.”

– Thorne, Wheeler, Misner

√Uma Visão Muito Abrangente do Desenvolvimento de Guitarras Elétricas

Qualquer atividade humana bem-estabelecida possui uma história digna de ser conhecida, e não é diferente com o rock and roll e as guitarras elétricas.

A guitarra elétrica é uma invenção moderna, que como diversas outras invenções desde o início do século XIX, possui vários pioneiros ao invés de um único inventor que viu tudo antes de todos.

Mas vamos começar *mais pra trás*. A eletricidade e o magnetismo são forças físicas que só começaram a ser domesticadas pelos homens no final do século XVIII. Em meados do século XIX os físicos já haviam compreendido muito bem diversos fenômenos, como a indução eletromagnética, e já possuíam modelos matemáticos bastante avançados.

O clímax de todo esse desenvolvimento teórico foi com o escocês James C. Maxwell, que demonstrou a existência de ondas eletromagnéticas. Maxwell morreu com menos de 50 anos de idade em 1879, e enquanto as universidades esperavam o próximo gênio, inventores puderam recuperar o tempo perdido aplicando as teorias em novas ferramentas para a sociedade.

O telégrafo já vinha sendo desenvolvido por um século, e em 1868 foi instalado o primeiro cabo transatlântico, graças a Morse - que era formado em pintura e artes - e outros. A lâmpada elétrica de Edison (que trabalhara como telegrafista) foi inventada poucos anos antes da morte de Maxwell - Swan inventara uma 20 anos antes, mas não funcionava direito. Na mesma época Graham Bell - um sujeito fenomenal, filho do dono de um grande instituto para auxílio de surdos e mudos e fundador da revista Science - patenteou seu telefone.

Para que as pessoas pudessem usufruir das lâmpadas, era necessário que a energia elétrica fosse distribuída, e foi o próprio Edison quem começou o trabalho. Mas seu 1% de inspiração não pôde com os 50% a 50% de Nikola Tesla, e foi o sistema trifásico do admirável, apaixonado e falido Croata que prevaleceu, bem como seu motor trifásico. Tesla também concebeu a radiodifusão, posta pra frente por Marconi. Aliás, que fique explícito: o Marconi não inventou o rádio... Ele levou a idéia pra frente, convenceu todo o mundo a usar, ganhou uma nota preta depois, mas não "inventou o rádio".

O telégrafo já estava muito bem estabelecido, mas a sede dos homens por espalhar basófilas e infâmias é inextinguível. O telefone existia, mas precisava ser muito melhorado, já que pra funcionar era preciso gritar tão alto que a pessoa do outro lado da linha ia acabar escutando (de verdade, as linhas não passavam de uns 10 metros).

A reprodução de um sinal elétrico é algo bem simples: basta jogar o sinal numa caixa acústica, e voilá! Mas o problema com o telefone não era esse... O problema era gerar esse sinal pontente o bastante para ser ouvido.

O elemento mais básico da eletrônica é o resistor. Ele determina a corrente que vai passar por um fio quando você ligar uma pilha nele. Os microfones da época eram resistências variáveis que eram ligadas em série aos alto-falantes e uma bateria, fazendo a corrente variar de acordo com um sinal de entrada.

Vejam bem, não existiam sistemas amplificadores ainda. Os microfones precisavam ser robustos, e agüentar uma potência tão grande quanto a entregue às caixas acústicas do outro lado. Para que o telefone pudesse funcionar a distâncias cada vez maiores, era preciso fazer microfones que aguentassem a potência. O mesmo avanço serviria para a comunicação via rádio que estava nascendo no finalzinho do século XIX. Era preciso criar um sinal com uma potência MUITO grande para fazer a transmissão via rádio, já que esse sinal devia ser forte o suficiente para alimentar os circuitos receptores!!

Alguns destes microfones de alta potência chegam a ser hilárias peças surrealistas. Pra começar, alguns aparelhos esquentavam tanto que precisavam de ventiladores fortes dissipando o calor deles. O perigo de incêndio era preocupante. Alguns aparelhos funcionavam variando o fluxo de um

pozinho de carvão, ou de algum *líquido*, para criar a resistência variável necessária. Existia o inconveniente de não poder abrir a porta, pra que o vento não soprasse o fluido!

Mas isso teve fim no início do século XX. Ah, o glorioso século XX viu o surgimento dos circuitos AMPLIFICADORES!

Você provavelmente já ouviu falar em válvulas, ou em amplificadores valvulados... A válvula é o precursor do triodo, o componente que realmente existe nos amplificadores. O triodo foi inventado por Lee de Forest em 1906, modificando a válvula de Fleming e explorando o “efeito Edison” que era observado nas lâmpadas do inventor. Foi a AT&T quem pegou o triodo de Fleming e fez uma revolução.

O funcionamento do triodo é o seguinte: Uma bateria bem forte fornece pro circuito de saída toda a potência que ele precisa, mas esse fornecimento passa por um triodo que pode ser regulado por uma tensãozinha entre dois dos três terminais. Essa tensão pequena pode vir do microfone mais rudimentar possível, ou da onda eletromagnética mais tênue, e ser elevada pras dezenas de watts necessárias para a reprodução do sinal.

Bom, agora nós temos os amplificadores, podemos finalmente chegar às guitarras elétricas! O efeito de indução em que se baseiam os captadores já era bem conhecido a partir de Faraday, mas era preciso que se inventassem os amplificadores para que o pequeno sinal dos captadores pudesse ser utilizado para alguma coisa.

Ao que parece, um sujeito já havia brincado com captadores na Gibson, mas a primeira patente pruma guitarra elétrica é de um certo George Beauchamp, que junto de Adolph Rickenbacher montou a primeira fábrica. Beauchamp era violonista, e queria incrementar o instrumento para tocar para audiências maiores. Ele foi atrás de engenheiros, e começou ele mesmo a estudar eletrônica. A história está no site da Rickenbacker... Enfim, por volta de 1930 veio a “Frying Pan”, uma guitarrinha havaiana, e em meados de 40 a moda já estava pegando.

É interessante ver que nem o site da Fender nem o da Gibson possuem algum link falando sobre a história das empresas. Bem, o que eu pude coletar é que o Leo Fender trabalhava numa oficina e veio a conhecer as guitarras da Rickenbacker, e em pouco tempo começou a experimentar com o conceito e a fazer suas próprias guitarras e amplificadores, enquanto a Gibson entrou na jogada depois que o Les Paul - que era um aclamado guitarrista - resolveu fazer a empresa investir de verdade no conceito. Todos as três empresas clamam a invenção da “guitarra de corpo sólido”, mas o crédito que cabe a eles é o de terem investido numa idéia que já existia a um século, mas só pôde se concretizar com o advento dos amplificadores.

Outra invenção de que ninguém é dono é o overdrive. O overdrive é uma distorção que qualquer amplificador dá quando você coloca o volume muito alto, e ninguém inventou isso. Isso simplesmente é a essência do rock’n’roll :) .

Sabe quando você vai puxando uma mola, até que ela estica toda e fica dura demais pra puxar?? Pois o mesmo acontece com as caixas acústicas quando você coloca uma tensão elevada demais nela. Algo semelhante acontece no circuito dos amplificadores, quando você pede uma tensão alta demais: ele simplesmente corta o sinal na maior tensão que ele consegue entregar. O resultado em qualquer um dos casos é que o sinal de entrada é “cortado”, e daí nasce o overdrive.

Isso é bem fácil de perceber. Se você toca com mais força num amplificador com overdrive, o sinal sai mais distorcido, enquanto se você tocar mais fraco o sinal sai puro. E também se você for tocando e colocando cada vez mais overdrive, vai notar que primeiro o som do ataque da guitarra fica distorcido, e só com mais overdrive é que o resto do sinal vai se distorcendo. Outro fato interessante de se notar é que começa a existir cada vez menos diferença de potência do som entre a parte do ataque e da sustentação. Um overdrive forte funciona como um compressor tosco, já que os sinais mais fortes são amenizados, ficando na altura dos mais fracos.

Os transistores foram descobertos, inventados e aprimorados em 1947, num trabalho que rendeu um nobel pros 3 pesquisadores Bardeen, Brattain e Shockley da Bell Labs (de novo eles). Transistores funcionam mais ou menos do mesmo jeito que os triodos do De Forest, mas as curvas de funcionamento são um pouquinho diferentes. Nesse “um pouquinho” reside espaço pra uma grande fonte de discórdia no mundo da música, principalemnte no que se refere ao overdrive.

Por ser um efeito gerado a partir de um defeito, fazer um overdrive certo não é tão fácil quanto fazer um violino que possua o som certo. O overdrive é um som “errado”, e existem sempre mais maneiras de se fazer uma coisa “errada” do que “certa” — por isso que eu chamo o overdrive de “entropia musical” :). Não existem ainda estudos profundos sobre que tipo de distorção os triodos e transistores de germânio e de silício fazem de diferentes, e até que ponto as pessoas podem escutar essas diferenças, e é isso que o autor que vos fala está estudando lá na UFMG.

Outro detalhe interessante do overdrive é que essa mesma exploração do fato dos transistores e válvulas entrar em “corte” é que tornou possível a existência da eletrônica digital. Antes o dispositivo que era empregado com a mesma finalidade eram os relés que precisaram ser inventados para replicar os sinais em cabos telegráficos de longa distância.

Não dá pra saber o que é mais fascinante: as

invenções ou os inventores.

A primeira coisa interessante que eu tenho pra chamar a atenção sobre todos esses inventores, é a ligação deles com outras áreas. Maxwell escrevia poesia, e mesmo cultuado por ser um grande teórico, fez uma experiência muito significativa mas pouco divulgada: gerou a primeira foto colorida, a partir de três chapas. Por falar em foto, o De Forest do triodo também inventou o primeiro sistema bem-sucedido de colocar som em filmes. Morreu triste por achar que o nível cultural dos sinais que ele ajudou a espalhar era baixo demais, assim como Santos Dumont que morreu triste por ver aviões serem usados pra guerra.

Marconi morreu rico, como Thomas Edison. Marconi foi um aluno de Tesla, e Edison fez tramóias financeiras contra o mesmo. Tesla morreu pobre e esquecido. Pelo menos o Graham Bell era legal.

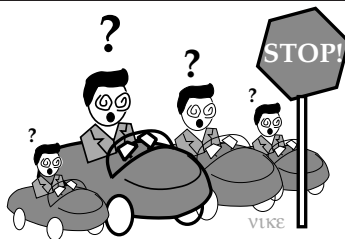
$\sqrt{\text{GALHOFAS}}$

Feynman: “Vocês sabem porque a galinha atravessou a rua?”

Aluno: “Você certamente está brincando, sr. Feynman!”

Guarda: “O senhor faz idéia da velocidade a que estava dirigindo?”

Heisenberg: “Não, mas sei exactamente onde eu estava!”



P: “Porque os estudiosos da relatividade especial não devem ser levados a sério?”

R: “Porque eles ignoram a gravidade da situação!”

√Lembranças Sobre os Avanços da Física Aliados aos da Matemática

Stephen Wolfram é o grande sujeito por trás da existência do programa Mathematica. Esse programa é um ambiente de trabalho em que cientistas podem experimentar hipóteses, simular sistemas, visualizar gráficos e desenvolver expressões - este último um ponto forte dele. Ainda existem mais projetos: A empresa sedia um dos sítios da internet que eu mais visito em minhas aventuras intelectuais: o Eric Weisstein's World of Mathematics, que é uma enciclopédia de matemática que está cada dia melhor.

Mas o Wolfram foi ainda mais longe. Sendo uma brilhante mente voltada para o avanço da ciência, ele acabou de lançar um livro por que anseio ler desde o momento em que vi a capa! Ela traz o desenho do desenvolvimento de um autômata celular unidimensional ao longo do tempo, em amarelo, num fundo preto. O livro *A New Kind Of Science* é um enorme volume, a que Wolfram se dedicou por bastante tempo. O software Mathematica, na verdade, foi inicialmente escrito porque Wolfram precisava dele em suas pesquisas, mais ou menos como Donald Knuth criou o TeX para escrever sua obra-prima inacabada.

Autômatas celulares são uma das entidades matemáticas que mais admiro, ganhando fácil até de polímeros e cadeias de Markov. O livro promete abordar o tipo de assunto que eu gosto... Mas afora isso, parece que a imprensa andou impressionada pelas promessas de Wolfram em apresentar "um novo jeito de fazer ciência". Isso me fez querer rever pra mim mesmo o que eu sei de como o desenvolvimento da matemática e das ciências naturais caminharam juntos.

Quando se pensa em avanço das ciências naturais ligado à matemática, o primeiro caso que nos vem à mente é o do cálculo diferencial. Desenvolvido independentemente por Leibniz e Newton nos idos do século XVIII, pode-se dizer que o cálculo diferencial demorou para ser criado. Matemáticos da antiguidade, como o glorioso Arquimedes, possuíam noções sólidas de limite e integral, entretanto entregavam-se somente à geometria e à lógica, sem possuírem a potente ferramenta da notação algébrica criada no oriente médio, e que só chegou ao conhecimento do resto da Europa nos meados da renascença.

Arquimedes usou uma técnica muito semelhante à integral para encontrar o volume de uma esfera a partir do volume de um cilindro subtraído de um par de cones, e tinha tal apreço por sua descoberta que pediu que o desenho desta solução fosse colocado em sua lápide. Ele também usou um processo de limite para aproximar-se do valor do número pi usando polígonos regulares com cada vez mais lados. Outro feito notável foi o da trisseção de um ângulo, para o que usou uma espiral de Arquimedes (não confundir com aquele parafuso de puxar água). Esta técnica é uma alternativa à geometria tradicional de Euclides e cia, em que não se pode usar mais do que uma régua e um compasso.

O cálculo diferencial é notável pela intuitividade dos conceitos com que trabalha. Uma derivada nada mais é do que a taxa de variação de uma quantidade em relação ao crescimento de outra. Com o cálculo, Newton (não sei até que ponto os continentais chegaram...) foi capaz de descrever a velocidade como a taxa de variação da posição de um corpo em relação ao tempo, e a aceleração como a taxa de variação da velocidade. Fazendo essa distinção clara entre velocidade e força, foi posto fim à confusão iniciada por Aristóteles com seus estudos pioneiros de cinemática. Aristóteles estava longe de enxergar a distinção entre possuir energia cinética ou receber potência através de um impulso, conceito a que hoje somos apresentados no segundo grau.

O início do colapso do modelo Aristotélico se deu com Galileu, que morreu no mesmo ano em que nasceu Newton. Galileu é autor da frase: "Devemos medir tudo o que pudermos, e tornar mensurável o que não pudermos". Ele verificou que corpos movimentam-se em velocidade constante quando não estão sendo submetidos a qualquer tipo de força. Outra idéia Aristotélica que Galileu ajudou a derrubar foi a do modelo Geocêntrico do Sistema Solar. Ele descobriu que Vênus passa por fases semelhantes às da Lua, o que faz com que a órbita deste planeta seja mais facilmente

compreendida colocando-o entre o Sol e a Terra num modelo Heliocêntrico. Lembremo-nos entretanto que o problema com o modelo Heliocêntrico era que ele não é inercial, e as pessoas não compreendiam isto muito bem ainda. Isto não basta para torná-lo um modelo “errado”, e o próprio Galileu me ajuda a afirmar isso, tendo sido a primeira pessoa a mostrar que “tudo é relativo”.

Contemporário a Galileu viveu René Descartes, um outro notável pioneiro na definição de métodos científicos, e ainda o desenvolvedor do plano cartesiano...

Vamos pular agora para o próximo ponto da história em que foi necessário abandonar a segurança da sólida e confiável geometria ancestral, como fez Arquimedes para conseguir a trissecção. No início do século XIX Gauss e, posterior e independentemente, Lobachevsky e Bolyai deram fim a uma prolongada dúvida a respeito dos axiomas de Euclides, e criaram as primeiras geometrias não-Euclidianas. Esta nova ferramenta matemática foi utilizada por Einstein décadas depois para começar a desenvolver a teoria da relatividade geral (não a restrita!). Trabalhando em um espaço-tempo curvo, ao invés do euclidiano que estamos habituados a experimentar, Einstein pôde manter raios de luz caminhando em linha reta como Fermat fizera muitos anos atrás, e ainda pôde trabalhar com mais facilidade no desenvolvimento dos princípios básicos de sua teoria.

É importante que tenhamos isso sempre em mente: O uso de matemática complicada em um problema é uma técnica que busca evidenciar coisas claras e simples, que visa tornar os problemas mais fáceis de serem manipulados depois de apropriadamente “domados”, torná-los mais intuitivos e próximos da maneira humana de ver as coisas. Cientistas estão sempre preocupados em procurar princípios gerais e simples para modelar fenômenos, preocupados em encontrar coisas belas e singelas que possam ser desenhadas em seus túmulos quando morrerem. Gauss encontrou uma construção para o polígono regular de 17 lados, mas não pôde colocá-la em seu túmulo, porque a arte da escultura não conseguiria realizar tal proeza naquela época. Ao invés disso, nas antigas notas de 10 marcos alemães encontramos um desenho da função de distribuição Gaussiana... Hoje já existe uma estátua sua com o heptadecágono regular esculpido, em sua cidade natal.

Outra ferramenta matemática que vem sendo utilizada pelos físicos a relativamente pouco tempo é a geometria fractal. O uso de fractais na ciência foi introduzido pelo polonês Benoit Mandelbrot a partir da década de 70, e trouxe a físicos das mais diversas áreas um jeito muito apropriado de tratar alguns problemas. Fractais encontraram suas primeiras aplicações na modelagem de ruídos eletrônicos, fluídos turbulentos e brilhantemente na medida do comprimento de costas marítimas e fronteiras.

Qualquer objeto intrincado e rugoso que precisa de trabalho demais para ser modelado exatamente do formato que é possui um grande potencial para ser melhor enxergado como sendo um fractal (não é tão simples assim). Depois de enxergado dessa maneira, conhecendo-se o processo de fabricação desse fractal que modela o objeto, pode-se fazer inferências sobre a natureza dessa entidade a partir de características que não eram antes muito bem apreciadas. É bastante óbvio, não? Se um fenômeno acontece de forma complicada e amedrontadora, devemos modelá-lo utilizando formas geométricas complicadas e amedrontadoras como os fractais. Apesar de terem um aspecto aterrador, fractais são gerados a partir de fórmulas bastante simples, e é com estas fórmulas que os cientistas trabalham, e não com as formas esquiladas da “revelação” delas.

Agora tratemos novamente do nosso prezado Wolfram. Ele é com certeza um sujeito de muitíssimo bom gosto: eu sou apaixonado por autômatas celulares! Wolfram parece ter brincado um bocado com autômatas celulares e com mais outras entidades matemáticas simples para modelar fenômenos físicos complexos, e parece ter obtido resultados bastante satisfatórios. Isso me lembra imediatamente do livro do Mandelbrot sobre fractais, em que nos últimos capítulos ele se põe a descrever o uso de fractais nos mais diversos problemas.

Outra ferramenta matemática que surgiu a pouco tempo e ganhou uma grande popularidade em diversos campos são as redes neurais, que modelam um fenômeno sem que você precise saber nada acerca de como ele se processa. É uma tendência atual na ciência o desenvolvimento de ferramentas assim. Quem as faz não são revolucionários: merecem o título de pesquisadores mais bem-sucedidos de nossa geração, mas não *revolucionários*.

Acho que Wolfram deve ter feito mais algum tipo de avanço desses: criou uma (talvez mais) ferramenta matemática que pode ser aplicada em diversas situações. Palmas para ele.

Agora quanto ao fato do livro ser revolucionário, ou quanto a ele ser um novo Newton... Eu acho equivocado aplicarmos nossos tempos nessas conjecturas. É consenso geral entre meus colegas que a ciência de hoje não é feita mais a partir de grandes sacadas, porque o número de pesquisadores é enorme, e existe mais gente preocupada em especilizar-se em conjuntos de problemas similares do que em desvendar grandes charadas universais como: "Porque o céu é azul" ou "porque as maçãs caem". Onde leio sobre o livro, parece que Wolfram acaba de descobrir que o caos permeia diversos sistemas físicos... O que que houve, não haviam contaram isso pra ele ainda!?

Acho que o fato dele ter feito um voto de silêncio por 20 anos enquanto escrevia o livro não é algo tão admirável assim. Usar isso pra enaltecer seu trabalho é algo doentio, pois o que conta é o que ele fez, e não se ele é um *insider* ou um *outsider*.

Por mais que o livro seja interessante, e te-

nho certeza de que vou gostar muito de ler, não posso evitar de achar que o site de divulgação dele é bonito demais. O site dos indianos que acharam aquele novo teste de primalidade não é tão bonito. O site do Donald Knuth não é tão bonito. O site do Douglas Hofstadter não é bonito também, nem o do John Nash, e nem nenhum bom periódico científico também é muito bonito... Em geral a beleza do conteúdo já é o suficiente.

Existe um FAQ no site do livro em que várias perguntas são dedicadas a explicar a capa do livro... A capa do Principia Mathematica é uma das coisas mais feias que eu já vi, bem como a capa da cópia do livro do Mandelbrot que eu li. Minha edição do tratado do Maxwell é feita com uma tipografia horrorosa, mas traz uma das mais belas evoluções científicas já vistas.

Lembra do final do Indiana Jones em que ele tem que achar o cálice sagrado?

Em suma, o livro deve ser genial, mas qualquer coisa além disso que você ouvir falar é o mais impuro marketing sujo.

√Produção da Fala

Os mecanismos de produção da fala humana são um assunto interessantíssimo, investigado já a bastante tempo por físicos, anatomistas e engenheiros. O assunto é bastante interdisciplinar, e possui uma história interessante, bem como todo o estudo do corpo humano. Mas chega de falar de história nesta edição, e vamos fazer um artigo mais técnico desta vez.

Quem já estudou um pouco mais a fundo equações diferenciais — ou quem já conviveu comigo mais do que meia hora nos últimos 3 anos — já ouviu falar em um sistema linear. Sistemas lineares são objetos que recebem sinais em suas entradas e entregam um sinal em sua saída, composto pela simples soma das entradas, amplificadas e atrasadas no tempo.

Quem quer que já tenha mexido um pouco com equipamentos de áudio profissionais conhece os equalizadores, que aumentam a intensidade de um sinal em certas faixas de frequência. Essencialmente sistemas lineares se comportam como equalizadores, atenuando frequências, e

também causando atrasos nos sinais.

Quase tudo o que se vê por aí são sistemas lineares... Quando não são, são sistemas não-lineares! Qualquer objeto que possua massa, elasticidade segundo a lei de Hooke e perca ou ganhe energia de forma simples tem o potencial para ser modelado como um sistema linear. Sistemas bastante complicados podem ser enxergados como sendo um conjunto de sistemas lineares, e por isso mesmo não deveríamos nos surpreender quando aprendemos que a geração da voz humana também é um notável exemplo de um sistema linear em ação... Mas eu me surpreendi do mesmo jeito!

Anatomicamente, a fala humana é gerada pela combinação de diferentes “gestos” envolvendo todos os músculos da garganta até os lábios, e por alguma forma de excitação do ar nesta região do corpo. O jeito mais simples de fazer isso é expirar excitando as pregas vocais na saída do seu pulmão enquanto sua língua, mandíbula e lábios se posicionam de alguma forma no caminho do ar.

As pregas vocais empurradas pelo ar saindo dos pulmões geram uma susseção de impulsos sonoros, como quando fazemos um apito com um pedacinho de papel. O som gerado pelas pregas vocais é bastante forte e áspero. Este som ao passar pelo trato vocal é refletido nas complexas paredes e ressoa pelas cavidades morrendo quando tem a chance de virar calor. O efeito final deste processo é o de um sistema linear.

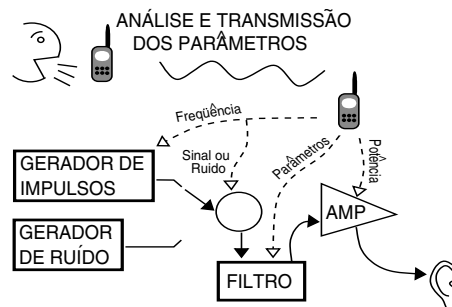
Portanto a voz humana é gerada assim: um som básico é criado (as cordas vocais são o melhor exemplo) e processado pelo grande equalizador que é o trato vocal. O que fazemos é apenas mexer na configuração deste equalizador, além de mexermos na intensidade e frequência do sinal original.

Não é fantástico? Mas não é só! Os geniais engenheiros da Bell Labs de 1939 foram capazes de simular este processo com sinais e sistemas lineares elétricos, e assim surgiu o cultuado *vocoder*. Com o desenvolvimento da eletrônica e eletrônica digital foi possível criar sistemas de filtros que se alteram no tempo simulando o que se faz com o trato vocal durante a fala.

Com isto em mãos, basta introduzir um trem

de impulsos no filtro para ouvir uma voz sintetizada na saída. Vozes sintetizadas por sistemas como estes, rústicos de preferência, são utilizados por músicos modernos para criar vozes estranhas. É possível também inserir-se um som conhecido, como de um violino, e fazê-lo falar com o *vocoder*.

E não pense que as coisas pararam por aí. Os vocoders estão mais próximos do que você imagina! Este processo de estimação do filtro para reconstrução do sinal da fala é exatamente o que se faz nos telefones celulares de hoje em dia. Um vocoder básico funciona da seguinte forma:



Quando a frequência fundamental e a potência do sinal não variam durante a fala, o resultado é uma voz estranha, sem prosódia e sem emoção, como estamos acostumados a chamar a “voz de computador”. Mas nos dias de hoje a voz de computador é feita a partir de muitos outros elementos, e torna-se cada dia mais convincente.