

## O RUÍDO TOMADO COMO FERRAMENTA DE ANÁLISE HISTÓRICA DA PRIMEIRA METADE DO SÉCULO XX

**Rodrigo C. Borges**

Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica  
Universidade Federal de Minas Gerais  
Av. Antônio Carlos 6627, 31320-901, Belo Horizonte, MG, Brasil  
{rborges@cpdee.ufmg.br}

### **Resumo**

Apesar do seu uso informal datado de séculos anteriores, 'ruído' aparece inserido no contexto científico do início do século XX como um conceito, uma ferramenta ou um elemento, mediado sempre por dispositivos tecnológicos e associado à negação. Era compreendido inicialmente como entidade metafísica, que originava flutuações, às quais não cabiam explicações plausíveis na perspectiva do conhecimento então existente. Por volta de 1930, diante do desafio de gerar e distribuir grandes quantidades de energia, cientistas americanos se enfrentam com o fenômeno da instabilidade. O ruído introduzido no sinal que trafega dentro de um sistema telefônico deu origem à ideia de realimentação. É finalmente no âmbito da teoria da informação que o ruído surge formalizado e nomeado propriamente. Presente como sinônimo de interferência em canais de comunicação, ruído adquire significados que permanece. O presente trabalho propõe uma variação de perspectiva – quer dizer, trazer o ruído para um primeiro plano de discussão – como possibilidade para uma análise histórica da primeira metade do século passado. A ideia de ruído permite entendimento diferenciado da evolução da relação entre o homem e seus dispositivos tecnológicos, uma vez que se encontrar fora do objetivo principal comum a estes: a representação de sistemas ideais.

**Palavras-chave:** ruído, realimentação, flutuações, teoria da comunicação, complexidade.

### **Abstract**

Despite of its use back in earlier centuries, 'noise' appears in the scientific context of the beginning of the 20th century as a concept, a tool or an element, always mediated by technological devices and associated to denial. This was firstly understood as a metaphysic entity, which produced fluctuations, that could not be reasonably described by the actual knowledge. In the 1930, when faced with the challenge of producing and distributing great amounts of energy, american scientists met the phenomenon of instability. The noise introduced in the signal travelling into a telephonic system gave birth to the idea of feedback. But it is finally in the context of the information theory that noise appears formalized and defined properly. As a synonymun of interference in communication channels, noise takes the definition that remains. This work proposes an exchange of perspective – that is to say, to bring noise to a first level of discussion – as a possibility of a historical analysis of the first half of the last century. The idea around noise allows a special way of understanding the evolution of the relationship between man and his technological devices, once assumed that noise is out of the their main objective: the representation of ideal systems.

**Keywords:** noise, feedback, control systems, information theory, complexity.

**PACS no. 43.50.Qp, 89.75.-k**

## 1 Introdução

“Ruído” está histórica e culturalmente associado à negação, referido muitas vezes como não-informação, não-forma, não-ordem, não-verdade. Entre instabilidade e estabilidade, porém, o ruído é de uma mesma natureza que a sua contraparte, o sinal, e difere deste exclusivamente no que se refere à intenção por parte do emissor: ruído é sinal que não se deseja transmitir. Como algo negativo, assim, o ruído não existe independente de um contexto que representa positividade, no qual está inscrito como aquilo que não é.

Em um âmbito objetivo, ruído dito ideal é ruído branco, em alusão direta à luz branca que contém todas as frequências nas quais a luz visível se propaga. É referido em termos teóricos como fenômeno físico cujo comportamento apresenta características imprevisíveis, cujos eventos sucessivos sejam independentes no tempo ou estatisticamente descorrelacionados, e que possuam um espectro de frequência tão plano e preenchido quanto possível. Ruído é fenômeno não determinístico, em contraposição a fenômenos que apresentam redundância, e que podem ter seu comportamento parcialmente ou completamente previsto.

Segundo Leon Cohen [1] ruído permeia todos os campos da ciência e da tecnologia e tem servido como ferramenta na discussão de grandes questões, inclusive no que se refere às interpretações sobre a origem do universo.

“ruído’, como uma idéia, um assunto, um campo, um instrumento, veio à tona com um poder e rapidez que transformou toda a ciência e nossa visão da natureza da matéria. Em seu surgimento, ele resolveu o maior desafio da sua época, a melhor idéia de todos os tempos – a existência do átomo.” [p.21]

O contexto histórico ao qual o autor se refere era de discussão em torno da existência do átomo e da sua implicação na vida das pessoas. Albert Einstein combinou a teoria do calor desenvolvida anteriormente com resultados práticos referentes aos movimentos aleatórios de pequenas partículas suspensas em um líquido estacionário, e demonstrou que esses movimentos erráticos, também referidos como flutuações ou ruídos, estavam atribuídos ao incessante bombardeio das partículas pelas moléculas do entorno líquido. Eram movimentos inerentes à própria natureza do fenômeno, proporcional à temperatura absoluta e à banda de frequência considerada.

Abraham Moles discute também o tema do ruído [2], e afirma que o descobrimento do princípio da amplificação de sinais elétricos provocou uma revolução na filosofia da ciência, análoga à provocada pela invenção do microscópio, porém melhor definida. A amplificação abria perspectivas ilimitadas e gerava a ilusão de que qualquer fenômeno, por menor que fosse a escala em que se manifestava, poderia ser mensurado. Não havia razão para não acreditar que se podia escutar uma pedra de gelo que derretia, ou um avião que passava a mil quilômetros de distância.

Logo se percebeu que isso não era assim, indica Moles, da mesma maneira que a difração havia limitado o aumento dos microscópios, a amplificação elétrica não podia ser levada além de determinados limites nos quais o fenômeno analisado se fundia com um “ruído de fundo”. A partir de tal limite toda amplificação aumenta simultaneamente o ruído e o sinal, se afastando do seu objetivo original.

Está claro que reduzir a perturbação em uma mensagem transmitida por qualquer canal significa diminuir a capacidade desse canal ou sua banda de suporte. Em termos formais, significa reduzir a extensão do repertório de elementos que seja possível transportar. Para Moles:

“a informação que se ganha de um lado se perde pelo outro, o que se ganha em sensibilidade se perde em variedade de número de elementos, e daí emerge portanto um *princípio de incerteza*, que em suas consequências mais profundas se deve a *natureza mesmo das coisas*.” [p.151]

O compromisso entre liberdade e fidelidade é um princípio da “limitação da informação receptível do mundo exterior”, e além disso não existe mensagem sem ruído, por mais reduzido que este seja. Ruído aqui se apresenta como “um fenômeno irreduzível que limita nosso conhecimento do universo em todas as esferas.” [p.152]

O presente texto tem como motivação a idéia de que um receptor é tão bem planejado quanto melhor sejam conhecidas as fontes que perturbam seu processo de comunicação, e que uma vez inevitável, o ruído pode e deve ser estudado desde perspectivas teórica e prática.

Dois outros trabalhos devem ser mencionados nesse ponto, o primeiro [1], de 2005, traça um histórico de aproximadamente cem anos a partir do início do século XX, e se prende a uma descrição histórica pouco detalhada conduzida pelo tema do ruído. Outro trabalho [9], de 1962, discute também o mesmo tema, porém de uma perspectiva essencialmente técnica, tratando de formalizar a evolução de um conceito em termos práticos, e para isso usa referências históricas para seu objetivo.

A proposta apresentada é traçar uma retrospectiva histórica estabelecida por três trabalhos. Albert Einstein, em 1905, publicou “Sobre o movimento de pequenas partículas suspensas em um líquido estacionário induzido pela teoria cinética do calor” [3], demonstrando que a difusão e o movimento Browniano se dão ambos em função da agitação molecular de corpos dotados com calor; Black, em 1934, publicou “Amplificadores estáveis com realimentação” [7], mostrando que a manutenção da amplificação de sinais elétricos relaciona-se com a perda de eficiência do sistema; Shannon, em 1948, publicou “Teoria matemática da comunicação”, e mediu capacidades teóricas de um canal de comunicação considerando a influência do meio externo. Das três abordagens, somente as duas últimas mencionam especificamente o ruído, embora este seja o tema que as relaciona.

O interessante é pensar a metaforização, o transporte, da idéia de ruído em discussões científicas de abordagens sobre temas científicos diferentes: o trabalho de Einstein trata sobre a visão microscópica de movimento de corpos suspensos em um líquido, o de Black estuda a amplificação de sinais sonoros, o de Shannon discute a transmissão de mensagens em um processo de comunicação. Diversas interpretações da idéia de ruído permite discutir o processo de comunicação envolvendo relações entre aparelhos e dispositivos técnicos, visão, audição, percepção humana.

Os três trabalhos são aqui tomados como fio condutor para a análise de temas já conhecidos envolvendo uma nova perspectiva, aquela introduzida pela idéia de ruído.

## **2 Termodinâmica, Difusão, Flutuação**

Com a invenção do microscópio, no início do século XIX, veio à tona o fato de que uma pequena porção de água continha um inacreditável mundo microscópico, organismos unicelulares e

multicelulares de inúmeras variedades [1]. A maioria desses organismos se moviam e levavam as pessoas a presumir que tais movimentos fossem completamente desordenadas. Logo se percebeu que outras coisas, como exemplo um grão de pólen, apresentavam também um movimento errático e que parecia ser bem diferente do observado em paramécios e amebas. Surge nesse momento uma crença de que movimentos erráticos observados em grãos de pólen poderiam ser indícios de uma vida primitiva, de que tais grãos poderiam estar vivos e em movimento.

A termodinâmica se estabelece como um ramo da ciência no meio século XIX, porém tem início especificamente em 1824 com o trabalho de Sadi Carnot sobre a força motriz do fogo. Carnot consegue reduzir o estudo das máquinas térmicas ao modelo das clássicas, e partir daí só o efeito da combustão lhe interessava.

Robert Mayer foi o primeiro a formular a lei de conservação de energia, demonstrando equivalência entre trabalho e energia em um artigo publicado em 1842. Com 27 anos de idade, Hermann Helmholtz foi responsável por converter matéria e calor em determinados processos biológicos, como decomposição, fermentação e atividade muscular. A partir de tais experimentos e generalizações surge o princípio da conservação da energia, hoje conhecido como primeira lei da termodinâmica.

Em 1851, William Thomsom estabeleceu que não é possível criar trabalho resfriando um reservatório térmico. A idéia central exposta nos seus artigos, e nos de Rudolf Clausius, era um princípio de exclusão: “Nem todos os processos possíveis de acordo com a lei da conservação de energia podem ser realizados na natureza”. A conversão de calor em movimento não pode fazer-se senão à custa de um desperdício irreversível, de uma dissipação inútil de uma certa quantidade de calor. A segunda lei da termodinâmica é um princípio de seleção da natureza [8].

Em 1865 Clausius introduz a entropia que separava os conceitos de conservação e reversibilidade: uma transformação físico-química pode conservar energia, embora não podendo ser invertida. A produção de entropia traduz uma evolução irreversível do sistema. Para todo sistema isolado, o futuro é a direção na qual a entropia aumenta. As equações de Newton eram reversíveis no tempo, mas os novos sistemas abertos dissipativos em questão não eram [10].

Foi Boltzman quem primeiro fez notar que se podia interpretar o crescimento irreversível da entropia como expressão do crescimento da desordem molecular, do *esquecimento progressivo* de toda a dissimetria inicial. Entropia caracteriza cada estado macroscópico pela medida de número de formas diferentes de realizar esse estado:

$$S = k \log W \tag{1}$$

Onde  $W$  é o número de estados acessíveis, e  $k$  a constante de Boltzmann. Segundo Prigogine, foi a primeira vez que um conceito físico foi explicado em termos de probabilidade.

## 2.1 Movimento Browniano

O termo Movimento Browniano faz referência a um biólogo, Robert Brown, quem, em 1828, ao se deparar com o recém inventado microscópio, observou grãos de pólen no seu novo equipamento. Em suas próprias palavras: “Ao examinar a forma dessas partículas imersas em água, observei várias delas em evidente movimento [...]. Esses movimentos eram tais que me convenciam [...] de que não proviam nem das correntes que percorriam o fluido, nem da sua evaporação gradual, senão que pertenciam à própria partícula.” [citado por 9, p. 8]

Einstein retoma o problema proposto por Brown e assume que cada partícula suspensa em um líquido estacionário executa um movimento independente do movimento de todas outras partículas, e que os movimentos de uma mesma partícula após diferentes intervalos de tempo deveriam ser considerados processos mutuamente independentes [3]. Dessa forma, uma média quadrática de  $N$  “passos” deveria anular qualquer termo que indicasse correlação entre instantes sucessivos de tempo, e resultar como dependente apenas do número ( $N$ ) de passos e do tamanho ( $l$ ) de cada um deles. A posição ( $x$ ) de uma partícula (tendo iniciado seu movimento em  $x=0$  e  $t=0$ ) deveria, portanto, se comportar de acordo com:

$$\overline{x^2} = \sum_{n=1}^N \overline{l_n^2} = Nl^2 \quad (2)$$

E se forem assumidos  $\nu$  passos por segundo, tem-se  $N = \nu t$  e portanto

$$\overline{x^2(t)} = \nu l^2 t \quad (3)$$

Esse modelo é conhecido como modelo da caminhada aleatória e expressa que para “passos” aleatórios ocorrendo em uma taxa razoavelmente constante de tempo, o deslocamento típico após um tempo  $t$  é proporcional a  $\sqrt{t}$ . Einstein considerou a difusão de moléculas ou partículas como uma caminhada aleatória.

Além disso, o autor argumenta que uma concentração diluída de partículas deve se comportar efetivamente como um gás perfeito de acordo com a equação de estado  $pV=nRT$  (na qual  $p$  é a pressão,  $V$  o volume,  $n$  o número de moles envolvidos.  $R$  é a constante do gás que pode ser expressada por  $Nk$ , aonde  $N$  é o número de Avogadro). O deslocamento derivado do movimento Browniano deveria suceder conforme:

$$\overline{x^2(t)} = 2BkTt \quad (4)$$

$B$  é a mobilidade da partícula no entorno do meio líquido e  $T$  a temperatura absoluta. Essa equação aponta para o fato de que qualquer elemento em ambiente térmico, sujeito à viscosidade de um líquido ou fricção, deve inevitavelmente exibir flutuações espontâneas cuja magnitude esteja relacionada com essa viscosidade e com a temperatura absoluta.

A densidade relativa de uma partícula Browniana,  $f(x,t)$ , na posição  $x$  no instante  $t$ , de acordo com a equação da difusão, tendo assumido  $BkT=D$ , respeita

$$\frac{\partial f}{\partial t} = D \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} \quad (5)$$

Aonde  $D$  é o coeficiente de difusão. Einstein resolve a equação para uma resposta ao impulso e obtém

$$f(x,t) = \frac{n}{\sqrt{4\pi D}} \frac{e^{-\frac{x^2}{4Dt}}}{\sqrt{t}} \quad (6)$$

Considerando  $P'$  como o radio de uma partícula, e substituindo  $D$ , obtém o desvio padrão:

$$\lambda_x = \sqrt{x^2} = \sqrt{2Dt} = \sqrt{t} \sqrt{\frac{RT}{N} \frac{1}{3\pi k P'}} \quad (7)$$

a partir do qual é possível determinar  $N$  da seguinte forma:

$$N = \frac{1}{\lambda_x^2} \frac{RT}{3\pi k P'} \quad (8)$$

Ao comparar valores da constante de difusão  $D$  medidos experimentalmente com previsões teóricas, Einstein demonstrou de forma adequada que a difusão e o movimento Browniano se tratavam essencialmente da mesma coisa, e ambos estavam relacionados com agitação molecular.

### 3 Amplificação, Instabilidade, Mensagens, Comunicação

Em 1832, durante uma viagem transatlântica, Samuel F.B. Morse havia decidido trabalhar no que seria o primeiro telégrafo elétrico. Seu aparelho desenhava linhas curtas e longas em uma tira de papel, e sequências desse tipo representavam números que correspondiam às letras de um dicionário de códigos. O alfabeto estava representado por espaços, pontos e traços [5].

Corrente elétrica presente por um espaço largo de tempo era representada por um traço, um instante curto de tempo por um ponto, e ausência de corrente por um espaço (-1, 0, 1). Em seguida, corrente em uma determinada direção do fio era o ponto, na outra direção um traço, e ausência um espaço. Em 1874 Thomas Edison dá um passo adiante e sugere um telégrafo *quadruplex*, com duas intensidades e duas direções de corrente [5]. O telégrafo passava a ter quatro elementos disponíveis além do espaço, em comparação com os dois anteriores (-1, -3, 0, 1, 3). Estava claro que a quantidade de informação transmitida dependia tanto da velocidade quanto do número de elementos disponíveis para transmissão.

Um entendimento intuitivo era o que movia tais avanços, porém um modelo matemático exato se mostrava necessário naquele momento. Em uma evolução processual, Alexander Graham Bell inventou o telefone em 1875, e diversos profissionais ajudaram na formulação do que parecia inevitável: um modelo matemático do fenômeno da telefonia. O matemático francês Henri Poincaré, o inglês Oliver Heaviside e o norte americano G.A. Campbell eram alguns dos que estavam envolvidos. Todos esses trabalhos, porém, pareciam ser extensões do método matemático proposto no início do século XIX pelo francês Joseph Fourier [5]. O trabalho original do francês tinha sido proposto para o estudo de vibrações e se mostrava como adequado para o estudo do comportamento da corrente elétrica.

Por volta de 1907, comunicações feitas com o telefone já eram possíveis através de curtas distâncias nos Estados Unidos. O sinal de voz tinha que ser amplificado e mantido inteligível desde um ponto no início ao final do enlace, e o amplificador disponível para isso na época era o eletromecânico. O sinal elétrico era convertido em som pelo uso de alto falantes, e esse som reconvertido em sinal elétrico pelo uso de microfones [4].

Crescia a demanda por um método capaz de transmitir múltiplas conversações por um único par de fios, o chamado sistema portador (*carrier system*). Em um sistema como esse, cada conversa estava associada a um frequência portadora, e o som introduzido era utilizado para modular a amplitude dessa portadora. As portadoras estavam separadas por filtros sintonizados em frequências distintas.

Por volta de 1920, os engenheiros projetistas desses sistemas portadores encontraram problemas causados pelas características não-lineares dos tubos à vácuo, que ao ser excitados por formas de onda com características complexas como as do sinal de voz, introduziam componentes harmônicas e resíduos de intermodulação.

### 3.1 Realimentação

Recentemente unido à Companhia Elétrica do Oeste (*Western Electric Company*), Black produziu um relatório no qual avaliava os requisitos necessários para transmitir milhões de conversas por um canal transcontinental. A distorção introduzida pelo sistema apresentava uma diferença de fase em relação ao sinal transmitido, e partir daí, surge a crença de que era possível limitar a distorção introduzida por cada amplificador de forma a manter o sinal em fase com seus resíduos.

Porém a distorção não era o único problema, o ganho dos amplificadores também variava durante a sua operação o que dificultava que a perda no canal fosse mantida constante. Black formulou uma solução possível: ele sugeriu que se a amplitude da saída fosse reduzida à da entrada, e se ambos sinais fossem subtraídos, o resultado seriam os produtos da distorção. Tais produtos poderiam ser amplificados em um amplificador externo e subtraídos do sinal original. O resultado final seria um sinal sem ruído. Esse repetidor, no entanto, não se mostrou adequado para aplicações em geral, ele requeria dois amplificadores com ganhos precisamente balanceados e que deveriam ser mantidos por uma larga faixa de frequência, e por longos períodos de tempo.

Por vários anos Black trabalhou nesse problema, até quando a solução lhe veio. Ele percebeu que adicionando parte da saída à entrada porém com *fase invertida*, a distorção poderia ser reduzida em qualquer nível perante o sacrifício de parte do ganho total do amplificador [4].

A idéia era simples, se o amplificador tem ganho  $\mu$  e a rede do circuito de realimentação uma perda de  $\beta$ , então:

$$\frac{\text{saída}}{\text{entrada}} = \frac{A}{F} = \frac{\mu}{1 - \mu\beta} = \frac{1}{-\beta} \left[ 1 - \frac{1}{1 - \mu\beta} \right] \quad (9)$$

O ganho com a realimentação é portanto  $\mu/(1 - \mu\beta)$  e se  $\mu\beta$  é muito maior que a unidade, então o fator de amplificação é reduzido a  $1/(-\beta)$ .

A transição de um modelo teórico para a prática, porém, não se mostrava como uma tarefa fácil. O alto ganho necessário para compensar a perda introduzida pela realimentação exigia dispositivos com multi-estágios, o que acarretava determinados problemas de ordem prática. Dentre a introdução de realimentação positiva nas frequências de rádio induzidas pela alta capacitância do anodo do amplificador, ou realimentação negativa no caso de acomplamento de amplificadores, um problema mais grave vêm a tona: cada estágio de amplificação introduzia uma deslocamento de fase no sinal de entrada.

Os projetistas de amplificadores não sabiam muito bem como lidar com esses problemas uma vez que eles não entendiam totalmente as condições nas quais um amplificador com realimentação operaria de maneira estável. Eles sabiam que era necessário um alto valor negativo de  $\mu\beta$  na banda útil de frequências; eles sabiam que o ganho decrescia e que o atraso de fase crescia com o aumento da frequência; eles sabiam que em um arranjo de amplificadores multi-estágio o atraso de fase poderia rapidamente atingir 180°; mas não sabiam como era possível determinar estabilidade.

Os princípios do amplificador com realimentação negativa foram descritos por H.S. Black em um artigo apresentado na Convenção da Instituição Americana de Engenheiros Eletricistas em Nova Iorque em Janeiro de 1934 [7].

“No entanto, ao construir um amplificador cujo ganho é determinado deliberadamente, 40 decibéis acima do necessário e posteriormente conectando a saída na entrada de uma certa maneira que elimine o ganho em excesso, foi descoberto que é possível provocar melhorias extraordinárias em continuidade de amplificação e liberdade em relação à não-linearidade. [...] Realimentação estável possui outras vantagens incluindo redução do atraso e de distorção com atraso, redução de interferência de ruído do circuito da fonte de energia e várias outras características melhor apreciadas por projetos práticos de amplificadores.” [p.114]

Black descreve de maneira sucinta os benefícios da realimentação negativa e o apresenta na sequência através de um diagrama:

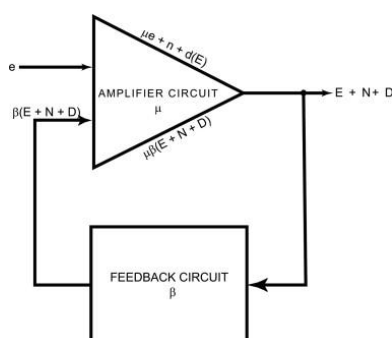


Figura 1:  $e$  – sinal de tensão de entrada,  $\mu$  - propagação do circuito do amplificador,  $\mu e$  - sinal de saída sem realimentação,  $n$  - tensão de saída do ruído sem realimentação,  $d(E)$  - tensão de saída da distorção sem realimentação,  $\beta$  - propagação do circuito de realimentação,  $E$  - sinal de tensão de saída com realimentação,  $N$  - tensão de saída do ruído com realimentação,  $D$  - tensão de saída de distorção com realimentação. Retitado de [7].

Ruído aparece, como é possível perceber, como fenômeno distinto da distorção que incide sobre o sinal. Black menciona ainda um *índice de ruído* que por sua vez está relacionado com os fatores de amplificação do circuito com e sem realimentação, e com os parâmetros  $\mu$  e  $\beta$ .



### 3.2 Teoria da Informação

Nyquist publica, em 1924, um artigo intitulado “Determinados Fatores que Afetam a Velocidade do Telégrafo”, no qual afirma que se estiverem sendo enviados símbolos em uma taxa constante, a velocidade de transmissão ( $W$ ) é proporcional ao número de símbolos ou valores de corrente diferentes ( $m$ ), segundo

$$W = K \log m \quad (10)$$

A constante  $K$  depende de quantos valores sucessivos de corrente são enviados por segundo.

R.V.L. Hartley estava pensando na transmissão de informação desde uma perspectiva filosófica, e publicou “Transmissão de Informação” em 1928. Ele considerava um potencial emissor de uma mensagem para o qual estavam disponíveis um conjunto de símbolos. Dentre estes, eram mentalmente selecionados um símbolo após o outro, o que gerava uma sequência. Ele observou que um evento ao acaso, tal como lançar um dado, poderia igualmente gerar essa sequência. Hartley define a informação contida na mensagem ( $H$ ) como o logaritmo do número de possíveis sequências de símbolos que poderiam ter sido escolhidos e demonstra que

$$H = n \log s \quad (11)$$

Onde  $n$  é o número de símbolos selecionados, e  $s$  o número de símbolos disponíveis.

Depois dos trabalhos de Nyquist e Hartley, a teoria da comunicação parecia ter sido deixada um pouco de lado, até quando, durante a segunda grande guerra, o ruído detectado pelos radares aparece como um impedimento que impedia aviões de serem detectados e derrubados [5]. O sinal elétrico recebido em um radar poderia conter uma parcela de ruído que parecia poder ser eliminado pela implementação de filtros focados em determinadas frequências desejadas no espectro do sinal.

Durante e ainda depois da guerra, Claude E. Shannon interessou-se pelo problema geral da comunicação, e publicou em 1948 um artigo considerado como a fundação da teoria moderna da comunicação. Esse artigo leva o nome de “Teoria Matemática da Comunicação” [6], e foi publicado no mesmo ano que “Cibernética” de Wiener, que, por sua vez, trata de comunicação e controle.

Shannon e Wiener se puseram famosos pelos seus trabalhos; o segundo estava geralmente associado à extração de sinais de um conjunto com ruído de um tipo previamente conhecido, o primeiro com a problema de codificar mensagens escolhidas de um conjunto conhecido símbolos transmitidas com ruído [5].

Uma teoria matemática da comunicação se propõe a tratar de maneira ampla e abstrata temas importantes no que se refere ao processos de comunicação que envolve transmissão de informação. Ambos termos, porém, matemática e comunicação, se parecem a princípio incompatíveis, o que leva o autor a se explicar logo no início do texto:

“Mensagens geralmente tem *sentido*; se referem a ou estão relacionadas com algum sistema com determinadas entidades físicas ou conceituais. Tais aspectos semânticos da comunicação

são irrelevantes para o problema da engenharia. O aspecto significativo é que a mensagem atual é uma *selecionada a partir de conjunto* de mensagens possíveis.” [p.1]

A partir daí fica claro o objetivo do autor de tratar mensagens como sequências de símbolos escolhidos em meio um conjunto de opções, de forma a desvinculá-la totalmente do seu caráter subjetivo semântico.

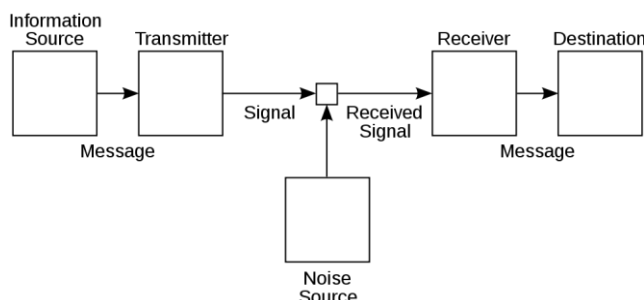


Figura 2: diagrama esquemático de um sistema geral de comunicação. Retirado de [6]

Os elementos que compõem um sistema que comunique duas partes, segundo ele, são quatro: fonte de informação, transmissor, receptor e destino (omitindo a fonte de ruído que será tratada na sequência). Shannon trata separadamente de cada uma deles, e dá exemplos individuais específicos. Todas partes aparecem como sendo sinônimos de meios ou dispositivos tecnológicos, como rádio, telégrafo, televisão, cabos; com exceção do “destino”, o qual é referido como sendo uma pessoa ou uma coisa em potencial.

A idéia de informação é um ponto chave dessa teoria, e aparece como estando relacionada com o que uma fonte poderia escolher, e não com que ela escolhe de fato. Melhor dito, “informação é uma medida da sua liberdade quando você seleciona uma mensagem” [11]. A medida da quantidade de informação é chamada de entropia. Esta é medida em *bits* e pode estar indicada, em se tratando de uma fonte de informação, em *bits* por palavra, frase ou mensagem, ou no caso de uma fonte que produz símbolos a uma taxa constante, em *bits* por segundo.

Em um situação simplificada, dotado de  $n$  símbolos independentes, cujas probabilidades de escolha são  $p_1, p_2 \dots p_n$ , a expressão para a entropia seria:

$$H = -\sum p_i \log p_i \quad (12)$$

No caso de apenas duas possibilidade de escolha com mesma probabilidade,  $p_1$  e  $p_2$ , a entropia apresenta valor máximo,  $p_1 = p_2 = 1/2$ . Na medida que um símbolo apresenta maior probabilidade que o outro, a entropia diminui, e no caso extremo de não haver possibilidade de escolha, a probabilidade assume valor unitário e a entropia se torna nula. No caso de não haver liberdade de escolha, a informação é nula, e aumenta juntamente com o acréscimo da diferença entre as duas possibilidades. O acréscimo de outros símbolos aumentaria também a entropia calculada, a liberdade de escolha e a informação.

O teorema fundamental de um canal sem ruído que transmite símbolos discretos, estabelece a capacidade ( $C$ ) de transmissão do canal que recebe dados de uma fonte com determinada entropia ( $H$ ).

Segundo o teorema é possível transmitir símbolos por um canal a uma taxa média igual ou menor que  $C/H$ .

Existem, porém, associada qualquer mensagem recebida, uma parcela incerteza sobre o que foi realmente enviado. Independentemente da qualidade de codificação, uma mensagem sofre sempre interferência enquanto está sendo transmitida, e acresce à mensagem o que Shannon denomina como ruído. Ruído como sinônimo de distorção, erro ou influência externa, aumenta a desordem da mensagem, e conseqüentemente sua incerteza, o que não significa aumento de liberdade, nem de informação.

Nesse ponto existe uma diferenciação entre entropia e ruído, a primeira está relacionada com desejo do emissor ou da fonte de informação, o segundo está relacionado com influências externas do processo de transmissão. Ruído está fora da intenção de comunicação, e pode apresentar-se igual ou maior que a diferença entre  $H$  e  $C$ . Um menos a entropia relativa da fonte, é a redundância.

#### **4 Conclusão: A Idéia de Ruído no Contexto da Discussão**

De acordo com Moles [2], o mundo exterior se apresenta ao conhecimento científico através de dois aspectos essenciais: o aspecto *energético*, preponderante na física até o início do século XX, que dá lugar às ciências particulares, e na qual o indivíduo parece não assumir nenhum papel; e o aspecto *comunicatório*, que situa o homem no universo material, e estuda a interação entre o indivíduo e o resto do mundo. Temas como mecânica, resistência de materiais e termodinâmica estariam integrados com o primeiro aspecto, enquanto as ciências humanas estariam integradas ao segundo.

Partindo da colocação de Moles, é possível pensar na termodinâmica, e conseqüentemente no trabalho de Einstein sobre o movimento Browniano, como estando associados a aspectos energéticos, relativos a partículas elementares, e que colocam o ser humano em um plano secundário de atenção. Os estudos da realimentação e da teoria da informação, diferentemente, estariam associados à aspectos comunicatórios, os quais privilegiam a interação entre homem e seu entorno, e que talvez possam ser referidos como parte integrante das ciências humanas.

Ruído existe na presença de sinal, ou de forma mais genérica, em situação de tentativa de comunicação entre partes. Conforme exposto no presente trabalho, é um termo que aparece no contexto do desenvolvimento de canais artificiais de comunicação, mas cuja idéia está fortemente relacionada com temas que já haviam sido tratados décadas antes pela termodinâmica. Ruído é muitas vezes denominado ‘sinal de novidade’, que não possui memória, uma vez que sua situação atual nunca faz referência às condições iniciais. Tal concepção coincide em alguns pontos com a idéia exposta pelo prêmio nobel de química, Ilya Prigogine, de sistemas abertos. Sistemas abertos são sistemas dotados de complexidade, nos quais a produção de entropia traduz uma evolução irreversível no tempo.

A irreversibilidade, segundo o próprio autor [10], “é definida negativamente, e só aparece como uma evolução ‘incontrolada’ que se produz cada vez que o sistema escapa do domínio” [p.97]. Complexidade, como objeto de interesse da ciência, aparece a partir do trabalho de Fourier de 1811 sobre a propagação do calor em corpos sólidos, quando “uma teoria física passa a existir, matematicamente tão rigorosa como as leis mecânicas do movimento, e absolutamente estranha ao mundo newtoniano.” [p.84] A idéia de ruído, vista dessa perspectiva, o coloca como elemento complexo, e nos faz lembrar de características reais da natureza, incapazes de ser tratadas de maneira determinística.

O meio tecnológico é fator determinante na relação que homem estabelece com o ruído. Se a teoria do calor se relaciona fortemente com as máquinas a vapor, a formulação do movimento Browniano ocorre em função da existência do microscópio, e os amplificadores de sinais tinham como objetivo aumentar as distâncias de comunicação entre pessoas por canais artificiais. Ruído restringe a comunicação mediada por dispositivos técnicos, se apresenta como desafio para o desenvolvimento deles próprios, e sua última consequência está relacionada com a percepção humana.

Ambos aspectos mencionados por Moles, energético e comunicatório, por fim, estão relacionados, no contexto do presente trabalho, respectivamente com dois dos sentidos humanos: a visão e a audição. A invenção do microscópio permite o homem ver partículas em movimento aleatório, o que o leva à formulação do movimento Browniano, em tentativa de formalização da desordem *visual*. A invenção da amplificação de sinais viabiliza o contato entre o homem e a desordem em termos de *audição*, melhor dizendo, o ruído sonoro. Essa constatação sugere diferentes reações humanas no que se refere à falta de coerência apresentada aos diferentes sentidos. Percebe-se ruído visual diferentemente que percebe-se ruído sonoro. Resta ainda a possibilidade de um estímulo visual aleatório, apresentar estrutura inteligível quando convertido em estímulo sonoro, e o mesmo ocorrer na lógica inversa.

Se até determinado momento não se percebia o ruído, a partir do momento em que é possível experienciá-lo (detectá-lo, tratar e falar dele), surge uma perspectiva aumentada para entendimento da situação. Pode-se dizer que o ruído, então, propicia um entendimento único do contexto no qual aparece. A idéia de ruído, usada como elemento metafórico (de transporte e trânsito interdisciplinar), serve como ferramenta para descrição e explicação no âmbito dos diversos campos discursivos em que é apresentada.

## Referências

- [1] Cohen, L. The history of noise [on the 100th anniversary of its birth]. *IEEE Signal Processing Magazine*, Vol. 22 (6), 2005, pp. 20-45.
- [2] Moles, A. Teoría de la información y percepción estética. Ediciones Juncar, Madrid, 1976.
- [3] Fürth, R; Cowper, A.D. Investigations on the Theory of the Brownian Movement by Albert Einstein . Dover Publications, New York, 1956.
- [4] Bennett, S. A history of control engineering 1930-1955. Peter Peregrinus Ltd, London, 1993.
- [5] Pierce, J.R. An introduction to information theory: symbols, signals and noise. Dover Publications, 1980.
- [6] Shannon, C.E. A mathematical theory of communication. *Bell System Technical Journal*, Vol. 27, 1948, pp. 379-423, 623-656.
- [7] Black, H.S. Stabilized feed-back amplifiers, *Transactions of the American Institute of Electrical Engineers*, Vol. 53(1), 1934, pp. 114-120.
- [8] Ebeling, W. Thermodynamics – past, present and future, *Advances in Solid State Physics*, 2006, pp. 3-14.
- [9] MacDonalds, D.K. Noise and Fluctuations. Dover Publications, Nova Iorque, 1962.
- [10] Prigogine, I.R. Stengers, I. A Nova Aliança: a metamorfose da ciência. Editora Universidade de Brasília, Brasília, 1984.
- [11] Weaver, W. The mathematics of communication, *Scientific American*, Vol. 181 (1), 1949, pp. 11-15.