O SIGNIFICADO CONTEMPORÂNEO DA TEORIA MATEMÁTICA DA COMUNICAÇÃO

CONTEMPORARY MEANING OF THE MATHEMATICAL THEORY OF COMMUNICATION

Christian Hugo Pelegrini
Mestre em História da Ciência, pela Pontifícia Universidade Católica de São Paulo - PUC/SP;
especialista em Teorias da Comunicação, pela Fundação Cásper Líbero;
formado em Rádio e TV pela Universidade Estadual Paulista - Unesp de Bauru;
coordenador do Núcleo de Pesquisa e Produção Audiovisual e professor dos cursos de Comunicação Social da Universidade Municipal de São Caetano do Sul - USCS;
professor do curso de Tecnologia em Jogos Digitais do Centro Universitário Senac, de São Paulo

Resumo

Este artigo propõe uma aproximação dos aspectos conceituais presentes na *Teoria matemática da comunicação*, obra clássica do matemático Claude Elwood Shannon, publicada em 1947. Ao leigo na linguagem matemática, o artigo reduz a formalização matemática em favor de uma explanação verbal que esclareça sem corromper os fenômenos, centrando-se nos conceitos mais relevantes para a Comunicação Social. Além da dimensão conceitual, o artigo explicita os desdobramentos de tal obra para o estado atual das tecnologias de comunicação, considerando a chamada revolução digital.

Palavras-chave: informação, Shannon, tecnologia da comunicação.

Abstract

This paper aims an approach of the conceptual aspects of The Mathematical Theory of Communication, classical work of the mathematician Claude Elwood Shannon, first published in 1947. To a layman on mathematical language, the paper reduces the mathematical formalization in benefit of a verbal explanation that elucidates without corrupting the phenomena, focusing on the most relevant concepts for the Social Communication. Beyond the conceptual dimension, the paper reveals the spreading of such work for the current state of the communication technologies, considering the so called Digital Revolution.

Keywords: information, Shannon, communication technology

1. INTRODUÇÃO

O mundo passa por uma transição tecnológica. Quer seja chamada de revolução digital, quer de era da informação, sociedade em rede etc., é inegável que a base de tal transição está na crescente mudança das tecnologias analógicas de comunicação e no armazenamento de informação para as tecnologias digitais.

Os fundamentos científicos de tal mudança foram estabelecidos em 1948, no livro do matemático e engenheiro americano Claude Elwood Shannon, chamado *Teoria matemática da comunicação*. O livro, um clássico das agora convergentes áreas de informática e telecomunicações, definiu uma série de conceitos e modelos que atravessaram as décadas de tecnologia analógica e permanece, em plena era digital, um guia para engenheiros e cientistas que desenvolvem as onipresentes tecnologias de comunicação. Além disso, o corpo teórico presente em *Teoria matemática da comunicação* espalhou-se por diversas áreas do conhecimento humano com o nome de teoria da informação (Pelegrini, 2005: 93).

Shannon não é totalmente desconhecido dos pesquisadores de comunicação social, que estão habituados a ver seu nome ligado ao de Warren Weaver na designação de um modelo de comunicação (o modelo de Shannon-Weaver).

No entanto, a obra de Shannon é tão vasta e tão presente no contexto tecnológico pelo qual se passa que surge a demanda pela atualização de sua importância histórica e uma ressignificação de sua participação na história da comunicação. Ao analisar o livro *Teoria matemática da comunicação*, de Shannon, Robert G. Gallagher (2001) afirmou que:

> *Este é o mais profundo e influente trabalho de Shannon. Ele estabeleceu as bases conceituais tanto para as partes individuais quanto para o todo dos modernos sistemas de comunicação. Era uma visão arquitetônica no sentido de que explicava como as peças se encaixavam no todo. Também engendrou uma medida da informação para descrever este todo* (Gallagher, 2001: 2.683).

Há que se considerar que o acesso do pesquisador de comunicação social a tão importante obra nem sempre é tão fácil. A formação do comunicólogo geralmente vem das ciências humanas. E o livro de Shannon é uma obra essencialmente matemática. Assim, este artigo propõe uma aproximação do pesquisador de comunicação social – geralmente, oriundo das humanidades – de tão fundamental obra para a compreensão do momento presente.

Mas o que poderia ser assim tão importante? Que ideias estão neste trabalho e influenciam os engenheiros até hoje? Qual é o conteúdo de *Teoria matemática da comunicação*? Qual a ligação entre a obra e o contexto tecnológico contemporâneo? Será feita, então, uma breve incursão pela teoria de Shannon.

Antes, cabe uma advertência. O texto integral de *Teoria matemática da comunicação* apresenta uma complexa e profunda formalização matemática, totalmente hermética aos não-matemáticos. Partindo-se deste fato e, também, considerando-se o escopo deste artigo e sua intenção de aproximar a obra do matemático dos pesquisadores de comunicação social, é importante ressaltar que o que segue agora é um resumo sucinto dos pontos mais relevantes da obra para a argumentação aqui apresentada. O formalismo matemático será o mínimo possível.

2. A TEORIA DA INFORMAÇÃO

Ao iniciar seu mais influente trabalho, Shannon (1975) definiu o escopo de sua obra.

> *O problema fundamental das comunicações é reproduzir em um determinado ponto, tão exato quanto possível, uma mensagem originada em um outro ponto. Frequentemente as mensagens contêm significado, isto é, elas se referem ou são correlacionadas a algum sistema de entidades físicas ou conceituais. Estes aspectos semânticos da comunicação são irrelevantes ao problema de engenharia. A faceta significativa é aquela em que a mensagem real tenha sido selecionada entre um grupo de possíveis mensagens. O sistema deverá ser projetado de modo a operar com qualquer das possíveis seleções a serem efetuadas, e não unicamente com aquela que realmente foi escolhida, posto que isto é desconhecido quando concebemos ou projetamos o sistema* (SHANNON, 1975: 33).

É interessante observar que, para a teoria de Shannon, a questão acerca do significado do que está sendo transmitido não é nada importante. Uma vez que a abordagem dos sistemas ocorre pelo viés da engenharia, o importante em um sistema de comunicação não é **o quê**, mas **quanto** está sendo transmitido. Ou, em outras palavras, qual é a quantidade da informação que está sendo transmitida?

A quantidade da informação tem relação direta com o desconhecimento que ela elimina entre fenômenos ou mensagens possíveis. Se for realizado um sorteio de "cara ou coroa", os resultados possíveis se limitam a dois: ou cara ou coroa. Assim, a dúvida (ou, como preferiu Shannon, a "incerteza") sobre o resultado está entre duas possibilidades. Por outro lado, ao se jogar um dado, os resultados possíveis são seis; a incerteza com relação ao resultado do dado é maior que a incerteza com relação ao resultado do "cara ou coroa". Da mesma forma, ao se retirar uma carta qualquer de um baralho completo, a incerteza com relação ao resultado está entre 52 possibilidades. No entanto, ao se retirar uma carta qualquer do mesmo baralho completo, e for perguntado qual é a cor do naipe desta carta (se vermelho ou preto), a dúvida volta a dois resultados possíveis. Desta forma, a quantidade de informação presente no resultado de um "cara ou coroa" e no resultado sobre a cor do naipe de uma carta de um baralho completo é exatamente a mesma; note-se que a quantidade de informação é a mesma por resolver incertezas de mesma dimensão (uma em duas possibilidades). Este aspecto demonstrado por Shannon dotou a composição da mensagem de uma natureza estatística.

Shannon retomou a ideia de Hartley, segundo a qual a melhor forma de se medir a informação de um sistema é fazendo uso da função logarítmica (SHANNON, 1975: 33), ou seja, quando um elemento novo é **somado** ao repertório de mensagens possíveis, o número de mensagens possíveis é **multiplicado**. O tamanho da informação é um logaritmo do número de mensagens ou eventos possíveis. A escolha da base do logaritmo ocorre em função da unidade de medida escolhida para a informação. Neste ponto, Shannon introduziu a noção de *bit*.

Bit é o acrônimo de ***Bi**nary Digi**t*** (dígito binário). O nome *bit* foi sugerido por J. W. Tukey (Shannon, 1975: 34), matemático e estatístico de carreira nos Laboratórios Bell e nome de grande importância na análise exploratória de dados e nos métodos de Fourier. Mas quanto é um *bit*, a unidade sugerida por Shannon para ser a medida da informação?

Epstein (2003: 72) definiu *bit* como “quantidade de informação ou redução da incerteza proveniente da seleção de um entre dois eventos ou sinais equiprováveis”. Haveria um *bit* de informação no resultado de um “cara ou coroa”, na cor do naipe de um baralho completo, se o resultado do lance de um dado foi par ou ímpar etc.

Shannon (1975: 34) apontou a vantagem prática do *bit* em função da tecnologia da época: um *bit* é o que determina se um relé está aberto ou fechado; da mesma forma, um *bit* é o que determina se o telégrafo emitiu um bip curto ou um longo. Hoje, os *bits* se manifestam na sequência de 0s e 1s que compõem a informação digital (qualquer que seja a natureza deste arquivo: texto, vídeo, som, instruções etc.). Note-se que, tal qual Shannon afirmava que o aspecto semântico não era importante para a teoria, o significado de tais 0s e 1s pouco importa aqui: *bits* são *bits*, qualquer coisa que estes signifiquem (Negroponte, 1995: 16).

Ao assumir o *bit* como unidade de medida, Shannon estabeleceu a fórmula da quantificação da informação:

$$\mathbf{i = log_2} \, \boldsymbol{n}$$

onde **n** é o número de eventos ou sinais possíveis (e equiprováveis) e **i** é a quantidade de informação em *bits*. Assim, a informação sobre o resultado de um lance de dados é de 2,58 *bits*, pois

$$2{,}58 = \log_2 6$$

ou, sobre qual é a carta retirada aleatoriamente de um baralho completo, a informação é de 5,7 *bits*, pois

$$5{,}7 = \log_2 52.$$

Tal fórmula só é aplicável a casos em que os fenômenos ou sinais são equiprováveis. Nos casos em que há certa tendência, introduz-se a probabilidade como fator de ponderação, aliada à medida da informação:

$$\mathbf{i = -\,log_2} \, (\boldsymbol{p})$$

onde *p* é a probabilidade do fenômeno. Quando se pergunta a alguém se este nasceu em um dia útil (de segunda-feira à sexta-feira) ou em um fim de semana (sábado ou domingo), a probabilidade de que tenha nascido em um dia útil é maior.

Assim, a informação entre as duas opções não é a mesma (1 *bit*), mas inversamente proporcional à sua probabilidade: há 0,48 *bit* em ser informado que tal pessoa nasceu durante a semana e 1,81 *bits* em ser informado que alguém nasceu no fim de semana (Epstein, 2003: 46). Quanto mais provável um fenômeno ou sinal, menos informação ele carrega.

Outro aspecto importante abordado por Shannon, em seu trabalho, é o conceito de entropia.

A entropia (Shannon, 1975: 53), dentro dos limites da **teoria da informação**, é o conjunto de possibilidades ou, ainda, a variabilidade de eventos e/ou sinais. Assim, a entropia contida em um simples "cara ou coroa" é relativamente pequena: são dois os estados possíveis. Já em um sorteio de uma letra do alfabeto, a variabilidade é muito maior: 23 são as possibilidades. Curiosamente, há que se observar a estreita relação entre a entropia de um sistema e sua quantidade de informação. Em um sistema com duas possibilidades, há menos informação (1 *bit*) que em um com 23 possibilidades (4,52 *bits*). Em um sistema de dois estados, a tendência à desorganização é menor que em um sistema de 23 estados. A complexidade do sistema é a medida da entropia e vice-versa.

Tal aspecto da entropia revela uma das grandes vantagens em se trabalhar com *bits*. O registro ou transmissão destes se torna mais resistente aos efeitos da distorção ou do **ruído** em função de sua entropia ser menor.

Quando se grava uma informação em código binário, apenas dois estados serão lidos posteriormente. Assim, é mais fácil para um dispositivo de leitura corrigir distorções no processo de recuperação: o dispositivo pode aproximar a leitura para apenas um dos dois valores aceitáveis. Se o registro usasse dígitos decimais, seriam dez os valores a ser reconhecidos; torna-se mais difícil distinguir entre um valor distorcido e o mais próximo valor correto.

Da mesma forma, ao se transmitir um *bit* pela variação de voltagens em um circuito (por exemplo, 0V = dígito 0 e 5V = dígito 1), ruídos que afetem a voltagem até certo ponto não afetarão o reconhecimento deste *bit* na outra ponta do canal de comunicação. Uma voltagem de, por exemplo, 1V seria reconhecida como 0 e uma voltagem de, por assim dizer, 4V seria reconhecida como 1. A chance de perder a informação diminui com a diminuição da entropia do sistema (Penfield, 2004: 4).

Outra importante questão introduzida por Shannon diz respeito à capacidade do canal de comunicação. Cada canal tem, em função de suas especificações técnicas, uma determinada capacidade *C* em *bits* por segundo. Se a fonte for de um tipo simples em que todos os símbolos se expressam no mesmo tempo de duração (como no caso específico do teletipo), se a fonte é tal que cada símbolo escolhido representa *s bits* de informação (que são livremente selecionados dentre 2^s símbolos), e se o canal tiver a capacidade de transmitir, por exemplo, *n* símbolos por segundo, então a capacidade *C* do canal é definida como sendo *ns bits* por segundo (Weaver, 1975: 17).

É possível sentir profundamente as implicações da capacidade do canal na atual transição de tecnologias de acesso à Internet. O *download* de um arquivo de determinado tamanho, feito em uma conexão *dial-up* (geralmente limitada aos 56Kbps), tomará muito mais tempo que o mesmo *download* em uma conexão ADSL[1] de 600Kbps.

É importante observar que a definição da capacidade do canal é um dos pontos mais ressaltados pelos comentadores de Shannon.

> *Shannon prova matematicamente que, com a codificação apropriada, se a capacidade do canal* C *é igual ou maior que a taxa de informação da fonte* R, *mensagens da fonte podem ser transmitidas pelo canal com um erro menor que qualquer valor mensurável* (Pierce, 1993: 39).
>
> *Shannon mostrou que comunicação confiável na presença de ruído não depende apenas de métodos de força bruta, como aumentar a potência em determinada banda de frequência. Ao invés, demonstrou que há um atributo de qualquer canal de comunicação, chamado sua capacidade, que representa os limites da comunicação confiável. Se alguém tentar transmitir a uma taxa de dados acima da capacidade, não há como prevenir a ocorrência de erros nos* bits (Kahn, 2001: 18).
>
> *Shannon então provou seu mais dramático e inesperado resultado (...). Ele mostrou que um canal é caracterizado por um número, sua capacidade. Se a taxa de informação de uma fonte modelo é menos que a capacidade do canal, então ela pode ser transmitida virtualmente livre de erros através do canal por um processamento apropriado* (Gallagher, 2001: 2.684).

Embora a definição de capacidade do canal tenha implicações muito profundas também para canais de comunicação em sistemas contínuos, deve-se notar que a insistência dos comentadores de Shannon ocorre em função de dois importantes fenômenos relacionados à capacidade *C*: a correção de erro e a compressão.

> *O papel da compressão de dados é converter uma fileira de* bits *representando uma sucessão de símbolos em uma fileira mais curta para uma transmissão, armazenamento ou processamento mais econômicos* (Penfield, 2004: 26).

Para diminuir o tamanho da sequência de *bits*, duas formas de compressão podem ser feitas: a *lossless* e a *lossy*.

A compressão *lossless* (sem perda, também chamada de reversível) é aquela em que a sequência de símbolos que compõem a informação não é aleatória, mas tem regras probabilísticas que governam tal sequência. O sistema de compressão

[1] *Assymmetric Digital Subscriber Line* ou Linha digital assimétrica para assinante.

gera um algoritmo – “um conjunto completo de regras que permitem a resolução de um problema determinado” (Breton, 1991: 59) – a partir de tais regras que permitem uma posterior reconstrução da mensagem em sua forma original (Penfield, 2004: 30). É a forma de compressão mais utilizada em documentos de texto ou códigos-fonte de programas.

A compressão *lossy* (com perda ou irreversível) opera extraindo da informação toda a repetição. Imagens possuem partes do espaço em que não há qualquer variação; sons também possuem períodos em que não ocorre qualquer mudança. No caso de vídeos, há a ausência de variação tanto em espaço quanto em tempo. Tais repetições representam sequências de *bits* que podem ser extraídos da informação. Na reconstrução, o sistema “preenche as lacunas”, obedecendo a certos parâmetros definidos pelo uso que se pretende dar a tais informações.

Longe de ser uma cópia exata do original, tais compressões são aproximações “boas o suficiente” para o uso que se pretenda (Penfield, 2004: 27). É a forma mais comum de compressão de arquivos audiovisuais (*.jpg*, *.mpg*, *.avi*, *.mp3*, *.wma* etc.).

A compressão torna a informação menor, alterando a razão entre esta e a capacidade do canal ou, em outras palavras, considerando que o canal tem o limite, a compressão garante que a informação esteja sempre abaixo deste limite (o que se configura como condição necessária para que haja comunicação).

Além de garantir que a informação seja menor que a capacidade do canal, a compressão também libera uma parte de tal capacidade para um uso bastante importante nas comunicações digitais: os *bits* de correção de erro.

> *O teorema da codificação de canal de Shannon mostrou que, ao contrário da crença popular daquela época, se e apenas se a taxa média de transmissão está abaixo de* C, *mensagens podem ser transmitidas com probabilidade de erro caindo a 0 pelo aumento do tamanho do bloco da mensagem. Este teorema fornece o significado operacional de C como o limite máximo em que o canal pode carregar comunicação confiável. (...) Esta capacidade está sendo utilizada por sofisticados métodos de codificação em aplicações como comunicação espacial e via satélite, transmissão de áudio/vídeo, e CDs e CD-ROMs* (Rissanen & Yu, 2000: 989).

O princípio da mudança no tamanho do bloco foi explicado por Breton (1996: 51). Caso se pretenda transmitir uma sequência de *bits*, diga-se:

1101 0011 0101 1000

Em um canal com incidência de ruído, pode-se codificar tal transmissão de modo a preservar a integridade da mensagem.

> *A solução desse problema liga-se à utilização de números de controle que desempenham um papel importante no processamento da informação. Como proceder? Dispõem-se inicialmente os números em linhas e em colunas, em seguida atribui-se um número de controle a cada linha e a cada coluna. Esse número é escolhido de tal forma que o total em cada linha ou coluna seja sempre* par (Breton, 1996: 51).

Caso um dos dígitos se perca na transmissão, os dígitos de controle indicam ao sistema como corrigir o problema.

	0	0	1	1
1	1	1	0	1
0	0	0	1	1
0	0		0	1
1	1	0	0	0

Figura 01: Quadro de correção de erro

Ainda que se perca algum *bit*, é possível recuperá-lo em função dos *bits* de correção. Para isso, basta que haja compatibilidade entre os sistemas de codificação e decodificação: ambos precisam entender qual foi o processo usado; neste caso, (a) o somatório de cada linha e cada coluna deve ser sempre par e (b) os quatro primeiros números representam os controles das colunas e os quatro seguintes, o controle das linhas.

No exemplo dado, o *bit* perdido é um 1. Com a codificação que contenha os *bits* de correção de erro, a mensagem transmitida passa a ser:

0011 1001 1101 0011 0101 1000

Aumenta-se o número de *bits* transmitidos para além do mínimo necessário; no entanto, garante-se certa margem de proteção contra ruído. Tal uso de *bits* de controle exige que o resultado da codificação esteja, ainda, abaixo da capacidade de canal *C* definida por Shannon (Gallagher, 2001: 2.691).

Tais recursos de compressão e codificação com correção de erro podem assumir formas muito mais complexas que as descritas aqui. Estes exemplos são meramente ilustrativos. Além disso, não é do escopo deste trabalho aprofundar tais questões. No entanto, observe-se que os princípios de tais recursos estão profundamente embasados no trabalho de Shannon.

A correção de erro e a compressão adquirem especial pertinência no fenômeno da revolução digital. No entanto, não são as únicas manifestações da obra de Shannon nas mudanças tecnológicas em curso na atualidade. A questão será aprofundada um pouco mais nesse sentido.

3. O SIGNIFICADO CONTEMPORÂNEO DE *TEORIA MATEMÁTICA DA COMUNICAÇÃO*

A *Teoria matemática da comunicação*, de Claude Shannon, apresentou o corpo teórico do que hoje é chamado de teoria da informação.

> *Teoria da Informação incentivou a revolução digital, onde a informação é enviada em fragmentos discretos ao invés de formas ondulatórias de sinais analógicos, porque os códigos de correção de erro de Shannon funcionam naturalmente no digital* (Liversidge, 1992: xx).

Shannon estava ciente das vantagens das formas digitais. Isso fica claro na menção que ele fez em *Teoria matemática da comunicação* à então recente tecnologia do PCM (*Pulse-Code Modulation*) (Shannon & Weaver, 1974: 33), tecnologia que converte fenômenos ondulatórios em sequências de valores discretos. E, embora o processo de conversão das tecnologias analógicas em digitais tenha ainda precisado esperar por certas melhorias em outras áreas (por exemplo, nas tecnologias de estado sólido), a obra de Shannon já sugeria as vantagens de tal transição.

O uso que Shannon deu à palavra *bit* definiu seu uso até os dias de hoje. E, além de ter definido a forma como os engenheiros entenderiam os processos e sistemas de comunicação, a obra de Shannon também conseguiu extrapolar os limites da especialização: com a popularização do computador e as novas tecnologias de comunicação, as ideias de Shannon penetraram no repertório do cidadão médio junto com os bens de consumo informatizados.

É possível uma primeira avaliação do significado contemporâneo deste corpo teórico pelo papel que este desempenha em codificação de correção de erro e compressão.

> *Um algoritmo de correção de erro ou de compressão é usado quando alguém surfa na* web, *ouve um CD, usa o telefone celular, ou trabalha em um computador. Em particular, quando um arquivo de música é transferido através da Internet, um arquivo de compressão* losslessly [sic] *(geralmente tendo um tamanho muito menor) é transmitido ao invés do arquivo original* (Rissanen & Yu, 2000: 986).

Tais algoritmos são herança direta de *Teoria matemática da comunicação.*

> *A teoria matemática por trás da codificação de correção de erro e da compressão começou há pouco mais de 50 anos com a publicação de* Teoria matemática da comunicação, *de Claude Shannon, no* Bell System Technical Journal (Rissanen & Yu, 2000: 986).

Quando todos os tipos de informação estão se convertendo em longas sequências de 0s e 1s (a chamada "convergência das mídias"), o uso da definição de *bit*, a capacidade do canal, a correção de erro e a compressão adquirem especial importância.

É a correção de erro que protege as formas de armazenar e transmitir informação, seja em CDs[1] e DVDs[2], seja em pacotes de informação de TCP/IP[3]. Da mesma forma, operações em informática usam a correção de erro para se proteger de falhas nos resultados. A integridade de milhares de operações bancárias é garantida pelo uso de correção de erro.

A compressão está presente em situações em que se tem a necessidade de diminuir o tamanho da informação sem afetar o seu uso final. A conversão de imagens em arquivos de extensão *.jpg* tem um débito considerável com Claude Elwood Shannon. Da mesma forma, músicas em *.mp3* tornaram-se uma febre entre usuários da Internet por fazer grandes arquivos de 60Mb (em extensão *.wav*, forma pouco comprimida) se transformarem em viáveis arquivos de 4Mb. O mesmo vale para algoritmos de compressão de filmes em extensão *.mpg*, *.avi* etc.

Em um primeiro momento, pode-se objetar que a compressão perde sua importância em função do aumento gradativo da capacidade do canal (a largura de banda). No atual estágio da Internet, muitas conexões ainda são feitas via *dial-up* (ligação telefônica). No entanto, já se observa uma adoção considerável de formas de conexão de banda larga (ADSL, *CableModem* ou rádio). Em um futuro não muito distante, a fibra óptica oferecerá larguras de banda até então inimagináveis. Em uma situação de mudança como esta, em que a capacidade do canal aumenta a cada dia, talvez a importância da compressão possa parecer minimizada. Tal argumento pode ser respondido de duas formas.

Primeiro, deve-se considerar que os usos dados a tais tecnologias também tendem a mudar com o tempo. Os usuários da Internet já não se contentam mais com o mesmo tipo de informação a que tinham acesso nos primórdios da rede. Cada vez mais, os usuários consomem mais capacidade de canal em seu uso cotidiano. Pesqui-

---

[1] *Compact disc.*

[2] *Digital video disc ou Digital versatile disc.*

[3] *Transmission Control Protocol/Internet Protocol.*

sas escolares não buscam mais apenas textos escritos e fotos: procuram-se também vídeos sobre os temas desejados, com resoluções cada vez maiores. Comunicações pessoais já não se limitam ao *e-mail*, mas passam a fazer uso de sistemas de voz sobre IP e *web conferences*. Mesmo o trânsito intenso de material menos nobre como *e-mails* com piadas ou pornografia tendem a abandonar sua forma verbal escrita ou de imagens estáticas em favor do audiovisual com alta definição. Assim, a compressão permanece bastante útil, mesmo em tais contextos.

A segunda questão a se considerar é que, embora certas formas de transmissão venham a aumentar sua capacidade de canal, ainda são usadas certas modalidades de transmissão cuja capacidade é finita por natureza. Quando se considera o espectro de frequência, deve-se lembrar que este é limitado. Nestes casos, a compressão adquire especial significado ao permitir a otimização de tal recurso. Seja na atual transição para a TV digital no Brasil, seja na penetração da telefonia celular, a compressão permite uma melhoria no uso do espectro designado para tais formas de comunicação.

Quando toda transmissão de TV se tornar digital (o marco regulatório estabelece 2016), o espaço usado atualmente por um único canal poderá, graças à compressão, ser dividido por até quatro canais de TV. Tal possibilidade abre a chance de uma maior democratização na concessão de canais de comunicação de massa. Da mesma forma, quando as tecnologias de telefonia celular se tornaram digitais, a compressão dos dados que carregam a voz dos falantes economizou a banda usada por cada linha. Assim, um número muito maior de linhas telefônicas pôde ser colocado em funcionamento, diminuindo consideravelmente o custo de tal tecnologia para o usuário doméstico.

4. CONCLUSÃO

Teoria matemática da comunicação não foi o único trabalho importante de Shannon. Antes da obra aqui analisada, Shannon já havia desenvolvido um sistema algébrico para projeto de sistemas lógicos. O referido autor também tem participação no desenvolvimento da tecnologia de PCM (técnica que digitaliza sinais analógicos). Enfim, são muitas as contribuições de Claude Shannon para a comunicação além do livro analisado. Cada uma destas facetas é merecedora de um artigo próprio. No entanto, o que este artigo pretendeu mostrar é que a obra *Teoria matemática da comunicação* é tão atual quanto os dispositivos de comunicação que ela fundamenta.

.

5. REFERÊNCIAS

BRETON, Philippe. *História da informática.* Tradução de Élcio Fernandes. São Paulo: Unesp, 1991.

CLAUDE Elwood Shannon. *Problems of Information Transmission*, v. 37, n. 2, p. 87-90, April, 2001.

COELHO NETTO, José T. *Semiótica, informação e comunicação*. São Paulo: Perspectiva, 1996.

EDWARDS, Elwyn. *Introdução à teoria da informação*. Tradução de Leônidas Hegenberg e Octanny Silveira da Mota. São Paulo: Cultrix/Edusp, 1971.

EPSTEIN, Isaac. *Teoria da informação*. São Paulo: Ática, 2003.

GALLAGHER, Robert G. Claude E. Shannon: a retrospective on his life, work, and impact. *IEEE Transactions on Information Theory*, v. 7, n. 47, p. 2.681-2.695, November, 2001.

GERE, Charlie. *Digital culture*. London: Reaktion Book, 2002.

HORGAN, John. Profile of Claude E. Shannon: unicyclist, juggler and father of information theory. *Scientific American*, n. 262, p. 16-17, January, 1990.

KAHN, Robert E. A tribute to Claude E. Shannon (1916-2001). *IEEE Communications Magazine*, v. 39, p. 18-22, July, 2001.

LIVERSIDGE, Anthony. Profile of Claude Shannon. *In*: SHANNON, Claude E. *Collected papers*. Piscataway: IEEE Press, 1992.

NEGROPONTE, Nicholas. *A vida digital*. 2. ed. Tradução de Sérgio Tellaroli; verificação técnica de Ricardo Rangel. São Paulo: Companhia das Letras, 1995.

OLIVER, Bernard M.; PIERCE, John R. & SHANNON, Claude E.. The philosophy of PCM. *In*: SHANNON, Claude E. *Collected papers.* Piscataway: IEEE Press, 1992.

PELEGRINI, Christian Hugo. 2005. *Claude Elwood Shannon e a revolução digital*. Dissertação (Mestrado em História da Ciência) – Programa de História da Ciência da Pontifícia Universidade Católica de São Paulo. São Paulo: USP.

PENFIELD JR, Paul. Information and entropy: lecture notes. Agosto, 2004. Disponível em: <http://ocw.mit.edu/OcwWeb/Electrical-Engineering-and-Computer-Science/6-050JInformation-and-EntropySpring2003/LectureNotes/index.htm>.

PIERCE, John. R. Looking back Claude Elwood Shannon. *IEEE Potentials*, v. 12, p. 38-40, December, 1993.

PIGNATARI, Décio. *Informação. Linguagem. Comunicação.* São Paulo: Perspectiva, 1968.

PRICE, Robert. A conversation with Claude Shannon: one man's approach to problem solving. *IEEE Communications Magazine*, v. 5, n. 22, p. 123-126, May, 1984.

RANGEL, Ricardo. *Passado e futuro da era da informação.* Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1999.

RISSANEN, Jorma & YU, Bin. Coding and compression: a happy union of theory and practice. *In*: *Journal of the American Statistical Association*, vol. 95, n. 451, p. 986- 989, September, 2000.

SHANNON, Claude E. & WEAVER, Warren. *Teoria matemática da comunicação*. Tradução de Orlando Agueda. São Paulo / Rio de Janeiro: Difel, 1975.

SHANNON, Claude E., *Collected papers.* Piscataway: IEEE Press, 1992.