

6G e Comunicação Semântica: Dos Bits ao Significado

Dr. Rogerio Moreira Lima Silva

Membro Titular da Cadeira nº 54 da Academia Maranhense de Ciências

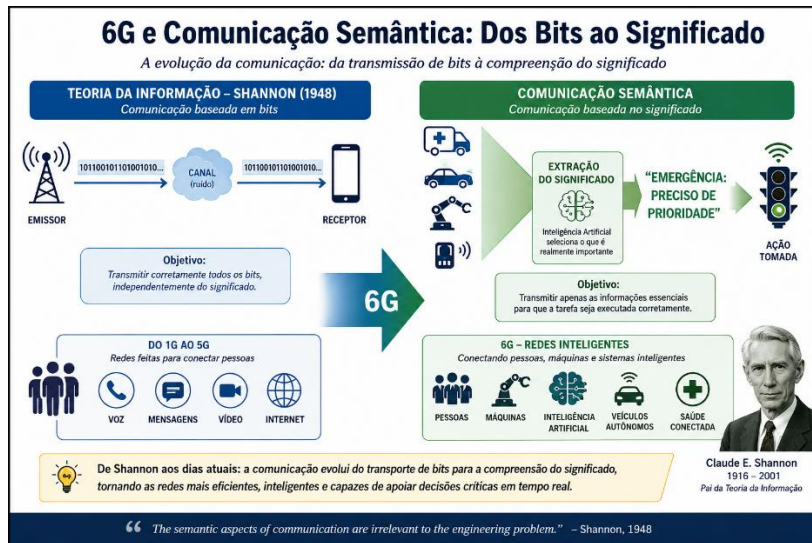


Figura gerada com auxílio de IA

O ano de **2026** possui um significado especial para a Engenharia Elétrica, para as Telecomunicações e para a Ciência da Informação. Celebram-se os **110 anos do nascimento** de **Claude Elwood Shannon** (30 de abril de 1916) e os **25 anos de seu falecimento** (24 de fevereiro de 2001). Engenheiro eletricitista, matemático e criptógrafo norte-americano, Shannon é responsável por estabelecer os fundamentos matemáticos da Teoria da Informação, que sustentam praticamente todas as tecnologias de comunicação digital utilizadas na atualidade.

Embora seu nome seja desconhecido para grande parte da população, sua contribuição está presente em nosso cotidiano. Sempre que enviamos uma mensagem pelo celular, realizamos uma chamada de vídeo, utilizamos o PIX, assistimos a um filme por streaming ou acessamos a Internet, estamos utilizando tecnologias construídas sobre princípios matemáticos desenvolvidos por Shannon.

Sua trajetória acadêmica foi igualmente notável. Graduiu-se simultaneamente em **Matemática** e **Engenharia Elétrica** pela **University of Michigan** e, posteriormente, concluiu o **Mestrado em Engenharia Elétrica** e o **Doutorado em Matemática** no **Massachusetts Institute of Technology (MIT)**. Em 1948, como pesquisador dos históricos **Bell Telephone Laboratories (Bell Labs)**, publicou o clássico **A Mathematical Theory of Communication**, considerado um dos artigos científicos mais influentes do século XX (Shannon, 1948).

Logo no início desse trabalho, Shannon escreveu uma frase que revolucionaria a engenharia das telecomunicações:

"The semantic aspects of communication are irrelevant to the engineering problem." (Shannon, 1948).

Isso não significava que o significado das mensagens fosse irrelevante. Shannon apenas demonstrou que, para resolver o problema da comunicação, bastava tratar matematicamente a informação, independentemente do seu conteúdo. Essa abordagem permitiu tratar a informação como uma entidade

matemática, dando origem ao conceito de **bit** e aos fundamentos que possibilitaram o desenvolvimento da Internet, das fibras ópticas, das comunicações via satélite e de todas as gerações da telefonia móvel, do 1G ao atual 5G (Shannon, 1948).

Durante quase oito décadas, essa teoria mostrou-se extraordinariamente eficiente. Entretanto, o mundo mudou. Se antes as redes eram utilizadas principalmente para conectar pessoas, hoje elas conectam pessoas, máquinas e sistemas inteligentes, permitindo uma comunicação contínua entre todos esses elementos. Veículos autônomos, robôs, sensores, equipamentos médicos e sistemas de Inteligência Artificial trocam informações continuamente e, muitas vezes, precisam tomar decisões em frações de segundo. É justamente essa transformação que motiva o desenvolvimento do 6G.

Foi justamente para responder a esse novo cenário que pesquisadores da **School of Computer Science da The University of Auckland**, na Nova Zelândia, e do **Interdisciplinary Centre for Security, Reliability and Trust (SnT) da University of Luxembourg**, publicaram na revista **IEEE Access** o artigo **Joint Source-Channel Coding System for 6G Communication: Design, Prototype and Future Directions** (Zhang et al., 2024).

A pergunta que orienta essa pesquisa é surpreendentemente simples:

Será realmente necessário transmitir todos os dados para que uma máquina compreenda uma mensagem?

Pense em uma ambulância deslocando-se para atender uma emergência. Ao aproximar-se de um semáforo inteligente, ela não precisa transmitir milhares de informações sobre o veículo. Basta informar que está em atendimento de emergência e necessita de prioridade na passagem. Todo o restante é secundário para aquela decisão.

É exatamente esse o princípio da **Comunicação Semântica** (*Semantic Communications*). Em vez de concentrar todos os esforços na transmissão fiel de cada bit, a rede deixa de tratar todas as informações como igualmente importantes e passa a priorizar aquelas que realmente contribuem para a execução de uma determinada tarefa (Zhang et al., 2024).

Essa mudança pode parecer pequena, mas representa uma profunda evolução conceitual. Durante décadas, a principal pergunta das telecomunicações foi: **como transmitir corretamente uma informação?** Agora surge uma nova questão: **qual informação realmente precisa ser transmitida?**

Os autores do artigo propõem uma arquitetura capaz de integrar a codificação da informação e a proteção contra erros, utilizando técnicas de Inteligência Artificial para preservar o significado da mensagem mesmo em ambientes de comunicação sujeitos a interferências. O objetivo não é apenas transportar dados, mas garantir que a informação útil chegue ao destino e permita a execução correta de uma determinada tarefa (Zhang et al., 2024).

Embora o trabalho represente uma contribuição científica importante, também apresenta limitações. A validação experimental foi realizada em um ambiente controlado de laboratório, utilizando uma modulação BPSK, reconhecida por sua simplicidade e elevada robustez, porém com baixa eficiência espectral quando comparada às modulações empregadas nas atuais redes móveis.

Isso, entretanto, não reduz a importância da pesquisa. Ao contrário, demonstra que estamos diante de uma nova fronteira do conhecimento. Se a Teoria da Informação permitiu construir as comunicações digitais do século XX, a Comunicação Semântica pode representar um dos pilares das redes inteligentes do século XXI.

É importante destacar que essa nova abordagem **não substitui** a Teoria da Informação de Shannon. Ela amplia seu alcance para responder aos desafios de um mundo em que máquinas passam a comunicar-se entre si, interpretar informações e tomar decisões de forma autônoma. Se Claude Shannon ensinou a engenharia a transmitir informações com confiabilidade, a Comunicação Semântica procura ensinar as futuras redes a reconhecer quais informações realmente importam.

Talvez essa seja uma das maiores transformações conceituais das telecomunicações desde 1948. Durante décadas, construímos redes capazes de transportar bits com extraordinária eficiência. Agora começamos a desenvolver redes capazes de compreender o significado da informação. Se essa visão se consolidar, o 6G poderá representar muito mais do que uma nova geração de telefonia móvel. Poderá marcar o início de uma era em que as redes deixarão de apenas transportar dados para colaborar ativamente com a inteligência das máquinas.

Para os leitores que desejarem aprofundar-se nesse tema, recomenda-se a leitura do artigo **Joint Source-Channel Coding System for 6G Communication: Design, Prototype and Future Directions** (Zhang et al., 2024). No entanto, trata-se de um trabalho de elevado nível técnico, cuja compreensão exige sólidos conhecimentos em **Teoria da Informação, Comunicações Digitais, Probabilidade, Álgebra Linear, Processos Estocásticos**, especialmente **Processos Gaussianos e Cadeias de Markov, Processamento Digital de Sinais, Aprendizado de Máquina e Eletrônica Digital**, com destaque para arquiteturas baseadas em **FPGA (Field Programmable Gate Array)**. São essas disciplinas que sustentam o desenvolvimento das futuras redes inteligentes e demonstram que a evolução das telecomunicações continuará sendo, antes de tudo, fruto da integração entre Matemática, Engenharia e Ciência.

Ao celebrarmos os 110 anos do nascimento de Claude Shannon, percebemos que sua obra permanece extraordinariamente atual. A Comunicação Semântica não representa o fim da Teoria da Informação, mas sua evolução natural diante dos desafios de um mundo conectado por Inteligência Artificial. Talvez essa seja a maior homenagem que a ciência possa prestar ao engenheiro eletricista que transformou definitivamente a forma como a humanidade se comunica: demonstrar que as grandes teorias nunca envelhecem; elas continuam inspirando novas gerações de pesquisadores a construir o futuro.