

PROCESSO EPIDÊMICO E PROCESSO DE COMUNICAÇÃO

SILAS MARQUES DE OLIVEIRA

Curso de Mestrado em Biblioteconomia
Pontifícia Universidade Católica de Campinas
13100 — Campinas, SP

Estuda a natureza do desenvolvimento científico através de fórmulas matemáticas, comparando o processo biológico de uma epidemia com o processo de comunicação de idéia/informação. Oferece paralelos entre o processo de divulgação de conhecimento e o processo de transmissão de doenças. Analisa a interdependência das classes de infectados, susceptíveis e removidos de populações abertas e fechadas no contexto de uma representação determinística e uma representação estocástica.

PROCESSO EPIDÊMICO E PROCESSO DE COMUNICAÇÃO

"Um dos mais intrigantes problemas da ciência moderna é a natureza obscura de seu crescimento". (6:65) Esta afirmação é feita por William Goffman, ao iniciar seu trabalho *Mathematical approach to the spread of scientific ideas: the history of mass cell research*, em 1966. Anos mais tarde, ao analisar a literatura sobre lógica simbólica, conclui que seu crescimento, "como o de qualquer outra disciplina científica, é caracterizado pela evolução e difusão das idéias" (4:173).

Em 1967, Goffman & Newill (4:173) apontaram que a divulgação de idéias dentro de uma comunidade científica e a propagação de uma doença infecciosa são, ambas, casos especiais de um processo mais geral, o de comunicação, sendo que este é uma sequência de eventos, resultando na transmissão de informação de um objeto a outro. O primeiro é chamado fonte, e o receptor, destinatário (3:726). O processo de transmissão de idéias, portanto, pode ser estudado em termos de uma epidemia biológica onde o modelo, comparando ambos, pode ser descrito da seguinte forma:

— *Processo Biológico*: material infeccioso — } hospedeiro intermediário — } organismo;

- *Processo de Comunicação:* Fonte — > codificador — > mensagem — > canal — > decodificador — > destinatário;
- *Comunicação de Idéia:* Idéia — > escrita — > artigo periódico — > leitura — > leitor.

Conseqüentemente, fórmulas matemáticas podem ser aplicadas ao problema para explicar a natureza do desenvolvimento científico. Assim sendo, torna-se compreensível que o processo de divulgação de conhecimento e o processo de transmissão de doenças possuem muitas características em comum. Neste aspecto, Goffman (3:727) oferece vários paralelos entre os dois processos:

a. No caso de uma doença, lida-se com material infeccioso que pode ser transportado e transmitido, enquanto que no caso de conhecimento está se lidando com o transporte e transmissão de idéias, que podem ser maléficas ou benéficas, dependendo do ponto de vista que se adote.

b. As idéias transmitidas oralmente podem ser propagadas através das vias utilizadas para transporte. As rotas das caravanas antigas, por exemplo, que funcionavam como meios de comunicação, eram também as rotas pelas quais as doenças era propagadas.

c. A própria utilização do vocabulário médico pode ser observado como análogo à difusão de idéias. É comum ouvir expressões tais como *esta é uma idéia contagian-te*, ou *ele não é muito susceptível a tal idéia*, e assim por diante.

d. Assim como a sociedade luta contra a invasão de uma doença, ela se defende contra idéias subversivas. A ação mais decisiva é destruir o material infeccioso ou a idéia diretamente em sua base ou origem. O procedimento mais prudente é tomar medidas preventivas, como censura, supervisão ou perseguição religiosa. Em contrapartida, imunização e vacinação são exemplos dessas medidas na área da medicina.

e. As noções de conhecimento, informação e idéias se encontram no mesmo nível em relação uma às outras, como, por outro lado, estão as noções primárias de doença, agente e material infeccioso.

f. Assim como uma doença pode ser transmitida através do contato direto com um agente transmissor, os indivíduos podem ser infectados ao ouvirem seminários, aulas, etc.

Embora se possa notar semelhanças, Goffman & Newill (8:266) concordam que existem algumas diferenças entre a epidemia biológica e a intelectual. Afirmam, no entanto, que, enquanto a epidemia intelectual é desejada, a biológica é combatida. E continuam: "No caso da biológica, o indivíduo infectado produz material infeccioso, que se assemelha àquele que iniciou o processo; houve pouca mudança ou mutação durante o processo. Já na situação intelectual, existe mutação e mudança do material infeccioso em relação ao original, o que, aliás, é pré-requisito para que haja epidemia".

Funcionamento do processo

Na transmissão do conhecimento, a idéia toma o papel de material infeccioso; a

informação corresponde ao agente pelo qual o material infeccioso é transmitido, e a interação entre um indivíduo e uma idéia pode ou não resultar no acúmulo de conhecimento, assim como o contato do indivíduo com o material infeccioso pode ou não resultar no contágio de uma doença. São necessários, portanto, dois elementos para o desenvolvimento do processo epidêmico: população específica e exposição ao material infeccioso.

Os membros da população podem pertencer a uma das três classes ou estados, mutuamente exclusivos, em um dado ponto no tempo:

1. Infectados: membros da população que são portadores de material infeccioso;
2. Suceptíveis: membros da população que podem se tornar infectados, desde que estejam em contato com material infeccioso;
3. Removidos: membros que já não mais fazem parte da população, por vários motivos: morte, imunização, etc. Esses membros podem ter pertencido ou à população de infectados ou à de susceptíveis, por ocasião de sua remoção (3:728).

O indivíduo exposto pode ser resistente ao material infeccioso (livro, artigo, palestra, etc.), ou pode ser infectado por ele e, assim, procede em seu curso de desenvolvimento.

O intervalo de tempo que leva o indivíduo susceptível a se tornar infeccioso é o período de latência, e o intervalo de tempo entre a contaminação e o aparecimento dos sintomas (produção) é chamado de período de incubação.

Como o processo é totalmente dependente do fator tempo, pode apresentar dois aspectos em um dado ponto no tempo:

1. *Estável* — quando a taxa de variação do número de infectados com relação ao tempo é igual à taxa de variação do número de removidos com relação ao mesmo tempo:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{\Delta R}{\Delta t} \quad (1)$$

2. *Instável* — quando a taxa de variação do número de infectados com relação ao tempo é diferente da taxa de variação do número de removidos com relação ao mesmo tempo:

$$\frac{\Delta I}{\Delta t} \neq \frac{\Delta R}{\Delta t} \quad (2)$$

O processo estará em estado epidêmico se essa diferença for positiva, e em estado decrescente se for negativa. (3:728)

O processo descrito pode ser definido em termos de uma série N (população de objetos), juntamente com um agente i (informação), que está transmitindo material infeccioso entre os membros de N . Conseqüentemente, os membros de N passam através de uma série de estados S (susceptíveis, infecciosos e removidos) e todo o processo através de uma série de estados S (estáveis e instáveis), com respeito ao tempo.

Assim sendo, o processo epidemiológico pode servir como modelo para processos de comunicação. O processo de comunicação C pode, portanto, ser formalmente expresso por:

$$C = (N, i, s, S; t). \quad (3)$$

Este modelo é explicado detalhadamente por Goffman (3) e Goffman & Newill (4), ao abordarem os aspectos de transmissão de idéias de um subgrupo a outro, dentro de uma população, tendo em vista a criação de um serviço de recuperação de informação especializada. Sugerem que "os sistemas de recuperação de informação, ao abarcarem a totalidade do conhecimento, devem ser substituídos pela noção de pequenos sistemas dinâmicos inter-relacionados, que possam surgir quando necessários e extinguidos quando desnecessários" (8:228). Afirham, ainda, que "o papel de um sistema de recuperação de informação é providenciar um contato efetivo onde ele ainda não existir", possibilitando o surgimento de uma epidemia (8:228).

Outros, no entanto, não se limitam a explicar o processo, mas o aplicam, com sucesso, a áreas diferentes do conhecimento humano, como o fez Oliveira (10), ao estudar o crescimento epidêmico da literatura brasileira sobre esquistossomose, abrangendo o período de 1908 a 1972. Caldeira (1), ao analisar o crescimento epidêmico da literatura brasileira de doença de Chagas durante o período de 1909 a 1971, chegou a prever um crescimento máximo no ano de 1979. Este último comparou seu resultado com os obtidos por Goffman (6), que aplicara o modelo à literatura de mastócitos em 1966.

No entanto, Goffman não se limitou a esse estudo, pois em 1970, juntamente com Warren (9), aplicou o mesmo modelo à literatura sobre esquistossomose, abrangendo o período de 1852 a 1962, isto é, 110 anos. Em 1971, utilizou o modelo matemático estocástico, que é representado por um estado finito da cadeia de Markov, na literatura de lógica simbólica correspondente ao período de 1847 a 1962, ou seja, 115 anos (4).

Alguns autores utilizaram esse modelo na tentativa de compará-lo com outros processos. Goffman (7:786), em *Stability of epidemic process*, diz que o propósito

do trabalho é "mostrar que a estabilidade do processo epidêmico é equivalente à estabilidade no sentido de Lyapunov", pois a noção de estabilidade de um processo físico está intimamente associada à teoria de equações diferenciais.

Worthen (11) compara o modelo de crescimento epidêmico de Goffman com o modelo de contágio de Menzel, que examinou o processo sociométrico quando um novo produto farmacêutico era lançado à venda. Ambos abordaram o tópico com analogias semelhantes, e Worthen (11:345) concluiu que os resultados obtidos por Menzel "ênfatizam que existe uma idéia comum entre o modelo matemático e o sociológico e que as suposições feitas são válidas e aplicáveis ao uso de tais modelos como sendo análogos ao processo de informação".

O modelo matemático

Conforme Goffman & Newill (8:266), a implantação do modelo epidêmico apresenta certas dificuldades, e estas foram percebidas quanto à natureza da classe dos removidos em uma população. Após esses autores terem citado as três classes ou estados nos quais os membros de uma população podem pertencer em um dado ponto no tempo, afirmaram, referindo-se à classe dos removidos, que "estes últimos membros podem ter sido ou susceptíveis ou infectados por ocasião de sua remoção" (8:226), dando a entender que é possível chegar ao estado de removidos sem passar antes pelo estado de infectados.

No entanto, Goffman (7:786), em *Stability of the epidemic process*, afirma que os removidos constituem um estado que só pode ser atingido após se haver passado através do estado de infecção. Se a primeira afirmação causou dúvidas, a segunda causou contradição, apresentando, realmente, dificuldades.

Em 1970, Goffman (3:729) confirmou que a "remoção pode ocorrer apenas via estado de infecção, isto é, morte", mas em 1973, Worthen (11:343) disse que removidos são aqueles que por algum motivo não podem se tornar infectados, ou que já foram infectados e não o são mais. Em outras palavras, afirmou que é possível passar do estado de susceptível ao removido sem ter sido infectado.

Esta aparente contradição é esclarecida ao se verificar que Goffman & Newill (8:226) consideram dois modelos matemáticos ao desenvolverem a teoria para a transmissão de idéias: o modelo determinístico e o estocástico.

Representação determinística.

O modelo determinístico representa o processo como um sistema de equações diferenciais. O processo mais comum para a exploração da transmissão de idéias dentro de uma população parece ser através dos trabalhos produzidos pelos membros dessa população (8:266), que pode não ser constante em relação ao tempo. Nesse modelo pode-se ter, ou não, entre seus membros, a classe de removidos.

A representação matemática mais simples de um processo epidêmico seria aquela na qual a infecção é transmitida pelo contato direto entre os membros

de uma população. Nesse modelo, utilizado por Menzel, conforme Worthen (11:345), não se considera o estado de removidos. Com um processo dessa natureza, metade da população será infectada no ponto máximo, enquanto que a população total será infectada após a ocorrência da epidemia (3:729).

Outra representação matemática de um processo epidêmico supõe que a população total permaneça constante em relação ao tempo. Essa população se constitui de susceptíveis (S), infectados (I) e removidos (R). "Assim, N (toda a população de pesquisadores) = $S + I + R$, onde o material infeccioso é comunicado por meio de um canal determinado — livro, artigo de periódicos, etc" (1:12).

Este processo epidemiológico pode ser representado pelo sistema de equações diferenciais utilizado por Goffman:

$$\begin{aligned}\frac{dS}{dt} &= -aSI \\ \frac{dI}{dt} &= aSI - YI \\ \frac{dR}{dt} &= YI\end{aligned}\quad (4)$$

onde: a é o índice de infecção e Y é o índice de remoção. Os outros parâmetros foram definidos anteriormente (3:729). A população total $N = S + I + R$ permanece constante em relação ao tempo.

A condição necessária para que o sistema de equações (4) entre em estado crescente é que

$$\frac{dI}{dt} = aSI - YI > 0 \quad (5)$$

Então, $S > \frac{Y}{a} = C$ constitui o limite de capacidade dos susceptíveis, isto é, uma epidemia pode se desenvolver de um tempo T_0 somente se o número de susceptíveis S_0 nesse tempo exceder o limite C .

O processo alcançará o máximo no ponto em que o índice de mudança dos susceptíveis e infectados for máximo, isto é, quando

$$\begin{aligned}\frac{d^2(S+I)}{dt^2} &= Y \frac{dI}{dt} = -Y [aSI - YI] = 0 \\ \text{e } S &= \frac{Y}{a} = C\end{aligned}\quad (6)$$

Portanto, o ponto no qual o processo fará transição do estado crescente para o decrescente é o ponto no tempo no qual o número de susceptíveis se igualar a C (1:13).

Desde que N (população fechada) permaneça constante através do curso de desenvolvimento do processo, depois de ter entrado em estado decrescente, deverá sempre voltar ao estado estável. Este é um dos princípios fundamentais da eficiência epidêmica como controle. Portanto, o processo epidemiológico em uma população fechada é, em certo sentido, estável (7:786), pois após a epidemia o processo voltará ao estado estável.

Em uma representação mais realista do processo epidêmico, a população N é aberta, ou seja, N não é constante com o tempo. Em tal processo, novos suprimentos de susceptíveis e infectados são introduzidos na população N em proporções constantes. Este processo pode ser representado por:

$$\begin{aligned} dS/dt &= -aSI - \vartheta S + \mu \\ dI/dt &= aSI - YI + \nu \\ dR/dt &= \vartheta S + YI \end{aligned} \quad (7)$$

onde a é o índice de infecção;

Y é o índice de infectados removidos da população;

ϑ é o índice de susceptíveis removidos da população;

μ é o índice de novos susceptíveis na população;

ν é o índice de novos infectados na população. (3:731)

Percebe-se, portanto, que uma determinada população, onde o processo de transmissão de idéias ocorre, pode ser fechada ou aberta e possuir ou não a classe dos removidos.

É à luz deste fato que se deve analisar e compreender a aparente contradição quanto à possibilidade de haver ou não uma classe de removidos que não atravessaram a fase de infectados, ou seja, passaram direto da classe de susceptíveis para a de removidos. Esta situação pode ocorrer com um indivíduo que tenha sido exposto ao material contagiante, ou seja, assistido a uma aula, palestra ou sermão, e não se contaminou ao ponto de ser infectado.

Note-se que tanto Goffman & Newill (8) quanto Worthen (11) apenas mencionam o fato de que os removidos podem ter sido susceptíveis ou infectados por ocasião da sua remoção. Mas Goffman, em *Stability of epidemic process*, insere sua afirmação de que " R constitui um estado que só pode ser atingido passando através de um estado infeccioso" (7:786) no contexto do modelo de equações:

$$dS/dt = -BSI$$

$$dI/dt = BSI - YI \quad (8)$$

$$dR/dt = YI,$$

ou seja, o mesmo modelo apresentado em *A general theory of communication*, ao explicar o processo epidêmico em uma população ($N = S + I + R$) que permanece constante com o tempo (3:729), ou seja, em uma população fechada.

Nesse mesmo trabalho Goffman afirma que "A remoção pode ocorrer apenas via estado de infecção" (3:729). Conclui-se, portanto, que a remoção só ocorre após um elemento da população passar pelo estado de infecção apenas em processos epidêmicos de população fechada (N constante com o tempo). Nos processos epidêmicos de população aberta (novos susceptíveis são introduzidos ao longo do processo e N não permanece constante com o tempo), os susceptíveis podem se tornar removidos sem terem sido infectados.

Outra dificuldade observada no modelo proposto por Goffman é que "infelizmente, uma solução exata para tais sistemas nem sempre é possível. No entanto, aproximações adequadas são facilmente obtidas" (4:175).

Embora nesse trabalho Goffman apenas mencione o fato de que é possível uma aproximação adequada, em 1966 forneceu uma fórmula em forma de vetor

$$\bar{x}_t = \bar{x}_{i-1} + [t - t_{i-1}] \bar{x}_{i-1} \quad (9)$$

para população aberta. Em *A general of communication* (3) ofereceu outra solução para a população fechada: a introdução de um novo parâmetro, ou seja, agentes que transmitem material infeccioso entre os membros de uma população N .

Se M for o número de agentes transmissores de material infeccioso na população infecciosa I , e M e seus derivados forem funções contínuas do tempo t , a mudança em M pode ser assim expressa:

$$dM/dt = aM - bM(s + I) + cI, \quad (10)$$

onde a é a proporção na qual os agentes são removidos de circulação antes de estabelecerem contato com os membros de N ; b é a proporção na qual os agentes penetram entre os membros de N , e c é a proporção na qual os agentes são infectados pela população infecciosa I .

Representação estocástica.

Para grandes populações, representações determinísticas de processos epidêmicos podem ser adequadas. No entanto, probabilisticamente é mais realista lidar com processos envolvendo pequenas populações.

Em geral, o processo estocástico é representado por um grupo de variáveis (x_t) , onde t é o membro de alguma série T . Geralmente t é interpretado com um parâmetro de tempo t . Quando T for uma seqüência, o processo estocástico (x_t) é chamado de processo de parâmetro discreto. Quando for um intervalo, o processo estocástico (x_t) é tido como parâmetro contínuo.

O tipo mais importante do processo estocástico é o processo Markov. Esse sistema possui a chamada propriedade Markov, ou seja, o comportamento subsequente de um processo é determinado pelo conhecimento de seu estado atual. Portanto, o comportamento do processo Markov é completamente determinado por uma série de estados possíveis, sua distribuição probabilística inicial e as probabilidades condicionais de transições de um estado ao outro.

Goffman ⁽⁴⁾, ao estudar o crescimento epidêmico da literatura sobre lógica simbólica, subdividiu o assunto em sete áreas distintas e, através da cadeia de Markov, estudou as transições dos autores de uma área para outra. Goffman se utilizou desse mesmo processo para visualizar, em dimensões mensuráveis, os passos que levam a uma descoberta científica ⁽⁵⁾.

Comunicação recebida em 23.01.84

Abstract

Epidemic process and communication process

The nature of scientific development is studied using mathematical formulas comparing the biological process of an epidemics to the process of communication of an idea/information. Offers a paralel between the process of diffusion of knowledge and the process of transmission of infectious diseases. Analyzes the interdependence of the Infected, Susceptible and Removed classes of closed and opened populations in the context of deterministical and stocastical representations.

BIBLIOGRAFIA

1. CALDEIRA, P. da T. Crescimento da literatura brasileira de Doença de Chagas: análise bibliométrica. Rio de Janeiro, IBICT, 1974 (Dissertação — Mestrado).
2. _____. Processo de crescimento epidemiológico aplicado à literatura brasileira de Doença de Chagas. *Ciência da Informação*, Rio de Janeiro 4(1) : 1-16, 1975.
3. GOFFMAN, W. A general theory of communication. In: SERACEVIC, T. *Introduction to information science*. New York, Bowker, 1979. pp. 726-36.
4. GOFFMAN, W. A mathematical model for analysing the growth of a scientific discipline. *Journal of the Association for Computing Machinery*, Baltimore, 18(2) : 173-85, 1971.
5. _____. Mathematical approach to the prediction of scientific discovery. *Nature*, Washington D.C., 229(5280): 103-4, 1971.
6. _____. Mathematical approach the spread of scientific ideas: the theory of mast cell research. *Nature*, Washington, D.C., 212(5061) : 65-9, 1966.
7. _____. Stability of epidemic process. *Nature*, Washinton, D.C., 210(5038) : 786-7, 1966.

8. GOFFMAN, & NEWILL, V. A. Generalization of epidemic theory: an application to the transmission of ideas. *Nature*, Washington, D.C., 204(4955) : 224-228, 1964.
9. _____. & WARREN, K. G. Dispersion of papers among journals based on a mathematical analysis of two diverse medical literatures. *Nature*, Washington, D.C., 221(5178) : 1250-07, 1969.
10. OLIVEIRA, M. P. Estudo bibliométrico da literatura brasileira de esquistossomose. Salvador, Escola de Biblioteconomia e Comunicação da UFBA, 1974 (Dissertação de Mestrado).
11. WORTHEN, D. B. The epidemic process and the contagion model. *Journal of the American Society for Information Science*, Washington, D. C., 24(5) : 343-6, 1973.