

**Título em Português:** Tendências e modas: a abordagem de modelos baseados em agentes

**Título em Inglês:** Trends and fashions: the approach of agent-based models

**Autor:** Rafael Fernando Gigante

**Instituição:** Universidade de São Paulo

**Unidade:** Instituto de Física de São Carlos

**Orientador:** Jose Fernando Fontanari

**Área de Pesquisa /**  
**SubÁrea:** Física Geral

**Agência Financiadora:** USP - Programa Unificado de Bolsas

## Tendências e Modas: a abordagem de modelos baseados em agentes

Rafael Fernando Gigante

Prof. Dr. José Fernando Fontanari

Instituto de Física de São Carlos/Universidade de São Paulo

rafaelgigante7@usp.br

### Objetivos

Inicialmente, o projeto visa implementar o modelo apresentado por Bettencourt[1], que considera uma população homogênea sem restrições nas interações entre os agentes—ou seja, qualquer agente pode influenciar ou ser influenciado por outro. A implementação e reprodução dos resultados serão realizadas utilizando a linguagem *Python*. Em seguida, redes complexas[2] serão incorporadas no modelo de Bettencourt, permitindo interações mais realistas entre os agentes e a representação de círculos sociais autênticos. O objetivo principal é entender os mecanismos por trás da formação espontânea de tendências e modas através de simulações baseadas em agentes e verificar como a topologia da rede de influência mútua entre os agentes afeta essa dinâmica.

### Métodos e Procedimentos

A metodologia envolve a simulação de um sistema com  $N$  agentes que exibem propriedades emergentes ou coletivas, como tendências ou modas. Cada agente segue uma única tendência das  $L$  tendências disponíveis em um dado momento, e todas as tendências são inicialmente igualmente atrativas, sem viés. O crescimento ou declínio de cada tendência, chamado de momento, é dado por  $p_i(t) = N_i(t) - N_i(t-1)$ , onde  $N_i(t)$  é o número de agentes que seguem a tendência  $i$  no tempo  $t$ .

As interações entre os agentes podem alterar suas tendências. Quando dois agentes  $i$  e  $j$  se encontram, se o momento da tendência de  $i$ ,  $p_i$ , for menor que o de  $j$ , então  $i$  adota a tendência de  $j$  (pressão de conformismo). Caso contrário, se  $p_i$  for maior ou igual a  $p_j$  mas menor que um limiar  $p_{\text{crit}}$ ,  $i$  adota uma nova tendência inédita (pressão por singularidade). Cada interação corresponde a um passo de tempo de  $1/N$ , e após  $N$  interações, os momentos das tendências são

recalculados.

Para interpretar e caracterizar o sistema descrito, são introduzidas algumas medidas globais, inspiradas por análogos da física estatística, que capturam propriedades relevantes. Os ciclos de ascensão e declínio das tendências podem ser vistos como uma alternância entre estados de ordem (uma única tendência dominante) e desordem (coexistência de várias tendências). Essa incerteza é medida pela entropia de Shannon  $S$ , definida como:

$$S = - \sum_{i=1}^L n_i \ln n_i, \quad (1)$$

onde  $n_i = N_i/N$  representa a fração de agentes seguindo a tendência  $i$ . Para interpretar a criticalidade auto-organizada do sistema, utiliza-se a teoria de percolação, caracterizada por dois expoentes: a força de percolação  $P_c$  (fração do sistema ocupada pelo maior grupo) e a susceptibilidade de percolação  $S_c$  (tamanho médio dos grupos com o maior subtraído). Formalmente, tem-se:

$$P_c = \frac{\max(N_i)}{N} \quad (2)$$

e

$$S_c = \frac{\left(\sum_{i=1}^L N_i^2\right)}{N^2} - P_c^2. \quad (3)$$

Após a implementação do modelo descrito, será utilizada a biblioteca *NetworkX* do *Python* para a geração e visualização das redes complexas que representarão as redes sociais dos agentes. As redes serão geradas utilizando o modelo de grafo aleatório de Erdős-Rényi, o modelo de mundo pequeno de Watts-Strogatz e o modelo livre de escala de Barabási-Albert. Com esses modelos, será possível analisar como a topologia da rede influencia os ciclos de formação e declínio de tendências e modas.

## Resultados

Com o modelo descrito, é possível gerar ciclos de formação e declínio das tendências. Esses ciclos são representados pelos gráficos das medidas mostradas nas Figuras 1 e 2. Quando surge uma tendência dominante ( $P_c = 1$ ) a entropia atinge seu mínimo ( $S = 0$ ), representando o estado mais ordenado do sistema. O máximo de entropia ocorre com uma distribuição uniforme  $n_i = 1/L$ , resultando em  $S = \ln L$ . A susceptibilidade de percolação, cujo gráfico foi omitido aqui, apresenta um comportamento semelhante, apresentando picos nos instantes em que  $P_c$  é mínimo e sendo nula quando este é máximo.

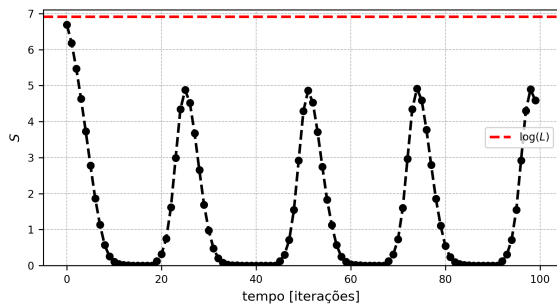


Figura 1: Entropia de Shannon para  $N = 10^5$ ,  $L = 10^3$  e  $p_{crit} = 1$ .

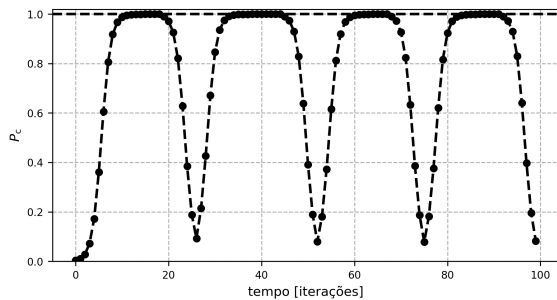


Figura 2: Força de percolação para  $N = 10^5$ ,  $L = 10^3$  e  $p_{crit} = 1$ .

Ao incluir redes complexas no modelo, foi possível obter resultados semelhantes aos apresentados anteriormente com os três modelos citados. A evolução do sistema é ilustrada na Figura 3, onde se observa a formação de uma tendência dominante (todos os agentes com a mesma cor), seu declínio e, em seguida, a formação de outra.

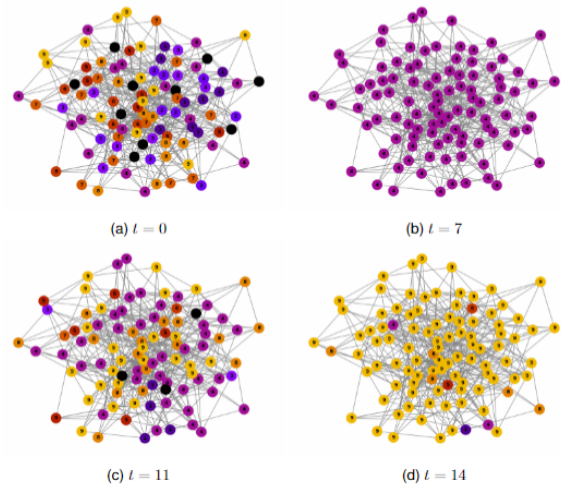


Figura 3: Evolução da rede complexa de agentes gerada pelo modelo de Erdős-Rényi com  $N = 10^2$ ,  $L = 10$  e  $p_{crit} = 1$ .

## Conclusões

Nesse projeto foi desenvolvido um modelo baseado em agentes capaz de descrever o padrão dinâmico de formação e decaimento de tendências e modas considerando as pressões por conformismo e singularidade. Foram observados ciclos alternados de ordem, dominado por uma única tendência, e desordem onde muitas tendências pequenas competem por popularidade. Além disso, foram implementadas redes complexas para a geração da rede de interação entre os agentes, tornando assim o modelo mais realista.

## Agradecimentos

Sou grato ao Fontanari por sua orientação e paciência durante o desenvolvimento deste projeto. Agradeço também à Universidade de São Paulo pelo apoio financeiro.

## Referências

- [1] Luis MA Bettencourt. From boom to bust and back again: the complex dynamics of trends and fashions. *arXiv preprint cond-mat/0212267*, 2002.
- [2] Mark EJ Newman. The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45(2):167–256, 2003.

## Trends and fashions: the approach of agent-based models

Rafael Fernando Gigante

Prof. Dr. José Fernando Fontanari

São Carlos Institute of Physics/University of São Paulo

rafaelgigante7@usp.br

### Objetives

Initially, the project aims to implement the model presented by Bettencourt[1], which considers a homogeneous population with no restrictions on the interactions between agents - that is, any agent can influence or be influenced by another. The results will be implemented and reproduced using the Python language. Complex networks[2] will then be incorporated into Bettencourt's model, allowing for more realistic interactions between agents and the representation of authentic social circles. The main objective is to understand the mechanisms behind the spontaneous formation of trends and fashions through agent-based simulations and to verify how the topology of the network of mutual influence between agents affects these dynamics.

### Materials and Methods

The methodology involves simulating a system with  $N$  agents that exhibit emergent or collective properties, such as trends or fashions. Each agent follows a single trend out of the  $L$  trends available at a given time, and all trends are initially equally attractive, without bias. The growth or decline of each trend, called momentum, is given by  $p_i(t) = N_i(t) - N_i(t-1)$ , where  $N_i(t)$  is the number of agents following trend  $i$  at time  $t$ . Interactions between agents can alter their tendencies. When two agents  $i$  and  $j$  meet, if the momentum of  $i$ 's tendency,  $p_i$ , is less than  $j$ 's, then  $i$  adopts  $j$ 's tendency (conformism pressure). Otherwise, if  $p_i$  is greater than or equal to  $p_j$  but less than a threshold  $p_{crit}$ ,  $i$  adopts a new unprecedented trend (pressure for singularity). Each interaction corresponds to a time step of  $1/N$ , and after  $N$  interactions, the momentum's of the trends are recalculated.

To interpret and characterize the system described, some global measures are introduced, inspired by analogues from statistical physics,

which capture relevant properties. The cycles of rise and decline of trends can be seen as an alternation between states of order (a single dominant trend) and disorder (coexistence of several trends). This uncertainty is measured by Shannon's entropy  $S$ , defined as:

$$S = - \sum_{i=1}^L n_i \ln n_i, \quad (1)$$

where  $n_i = N_i/N$  represents the fraction of agents following the trend  $i$ . To interpret the self-organized criticality of the system, the percolation theory is used, characterized by two exponents: the percolation strength  $P_c$  (fraction of the system occupied by the largest group) and the percolation susceptibility  $S_c$  (average fraction size of the groups with the largest subtracted). Formally, we have:

$$P_c = \frac{\max(N_i)}{N} \quad (2)$$

and

$$S_c = \frac{\left( \sum_{i=1}^L N_i^2 \right)}{N^2} - P_c^2. \quad (3)$$

Once the model has been implemented, the *NetworkX* library from *Python* will be used to generate and visualize the complex networks that will represent the agents' social networks. The networks will be generated using the Erdős-Rényi random graph model, the Watts-Strogatz small world model and the Barabási-Albert scale-free model. With these models, it will be possible to analyze how the topology of the network influences the cycles of formation and decline of trends and fashions.

### Results

With the model described, it is possible to generate cycles of trend formation and decline. These cycles are represented by the plots of the measurements shown in Figures 1 and 2. When

a dominant trend appears ( $P_c = 1$ ), entropy reaches its minimum ( $S = 0$ ), representing the most ordered state of the system. The maximum entropy occurs with a uniform distribution  $n_i = 1/L$ , resulting in  $S = \ln L$ . The percolation susceptibility, whose plot has been omitted here, shows a similar behavior, peaking when  $P_c$  is minimum and being zero when it is maximum.

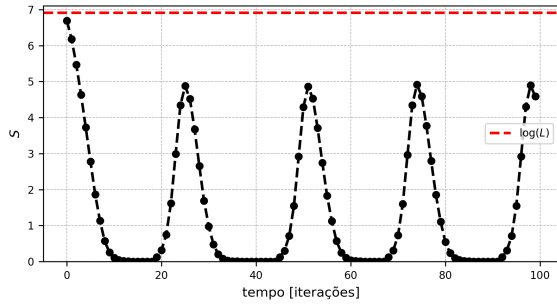


Figure 1: Shannon entropy for  $N = 10^5$ ,  $L = 10^3$  and  $p_{crit} = 1$ .

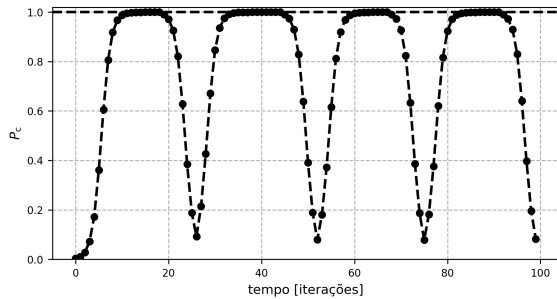


Figure 2: Percolation strength for  $N = 10^5$ ,  $L = 10^3$  and  $p_{crit} = 1$ .

By including complex networks in the model, it was possible to obtain results similar to those presented previously with the three models mentioned. The evolution of the system is illustrated in Figure 3, which shows the formation of a dominant trend (all agents with the same color), its decline and then the formation of another.

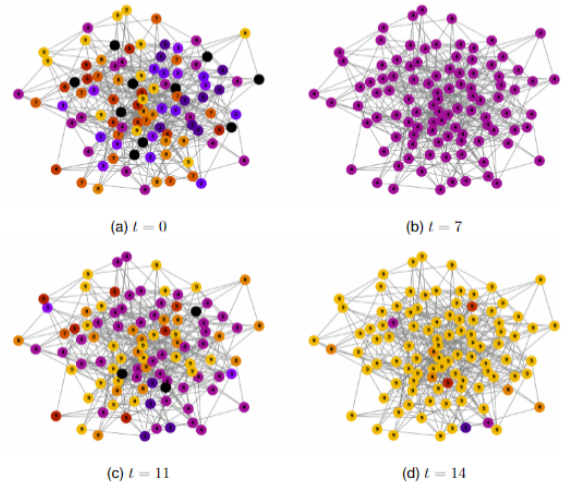


Figure 3: Evolution of the complex network of agents generated by the Erdős-Rényi model with  $N = 10^2$ ,  $L = 10$  and  $p_{crit} = 1$ .

## Conclusions

This project developed an agent-based model capable of describing the dynamic pattern of formation and decay of trends and fashions, taking into account the pressures for conformism and singularity. We observed alternating cycles of order, dominated by a single trend, and disorder where many small trends compete for popularity. In addition, complex networks were implemented to generate the interaction network between agents, thus making the model more realistic.

## Acknowledgments

I am grateful to Fontanari for his guidance and patience during the development of this project. I would also like to thank the University of São Paulo for its financial support.

## References

- [1] Luis MA Bettencourt. From boom to bust and back again: the complex dynamics of trends and fashions. *arXiv preprint cond-mat/0212267*, 2002.
- [2] Mark EJ Newman. The structure and function of complex networks. *SIAM review*, 45(2):167–256, 2003.