

## Introdução:

- Visão geral da disciplina RAD2809
- Desenvolvimentos históricos

**Prof. Dr. Evandro Marcos Saidel Ribeiro**  
FEA-RP  
Universidade de São Paulo

## **Apresentação da disciplina**

### **Cronograma e material apresentado em aula**

O material apresentado durante o semestre está disponibilizados no site da disciplina no e-disciplinas (USP)

<https://edisciplinas.usp.br/>

Nome Completo: RAD2809 - Redes Econômicas e Sociais (2023)

Nome Breve: RAD2809 - Redes 2023

Turma USP: RAD2809.1.2023202

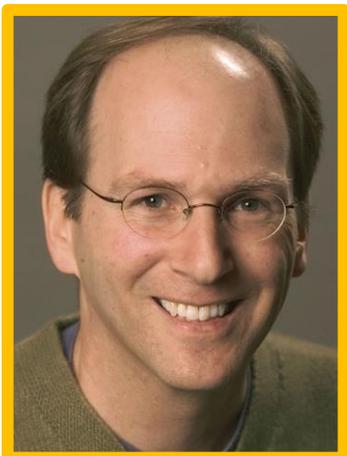
- Histórico e Pesquisas
- Aplicações
- Exemplos no R
- Conceitos básicos
- Estrutura de redes
- Graph Database



JOGO 45 - GRUPO G - ESTÁDIO DE KALININGRADO

ING  x  BEL

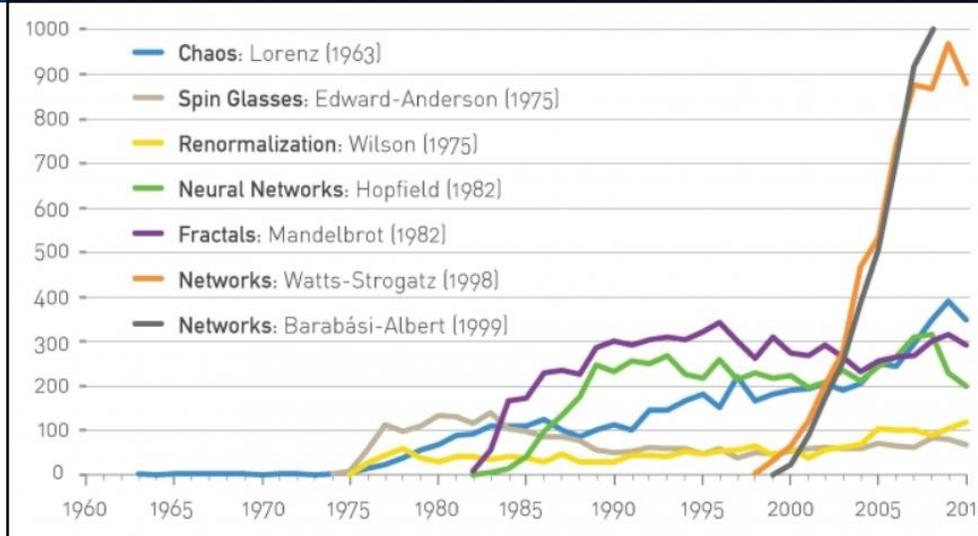
28/06 (Qui) - 15h00



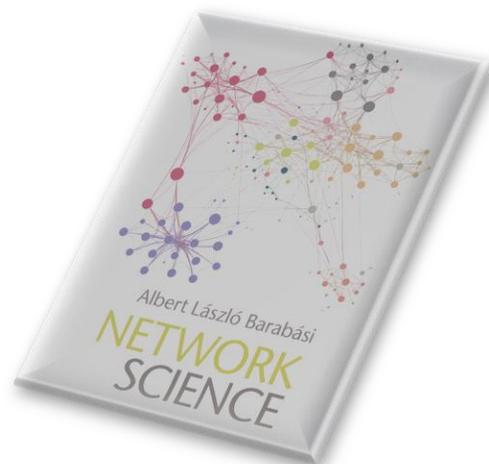
**Steven Henry Strogatz** is an American **mathematician** and the Jacob Gould Schurman Professor of Applied Mathematics at Cornell University.



**Duncan James Watts** is a principal researcher at Microsoft Research, New York City known for his work on **small-world networks**.



<http://networksciencebook.com/>



**Albert-László Barabási** is a Hungarian-American physicist, best known for his work in the research of **network theory**.

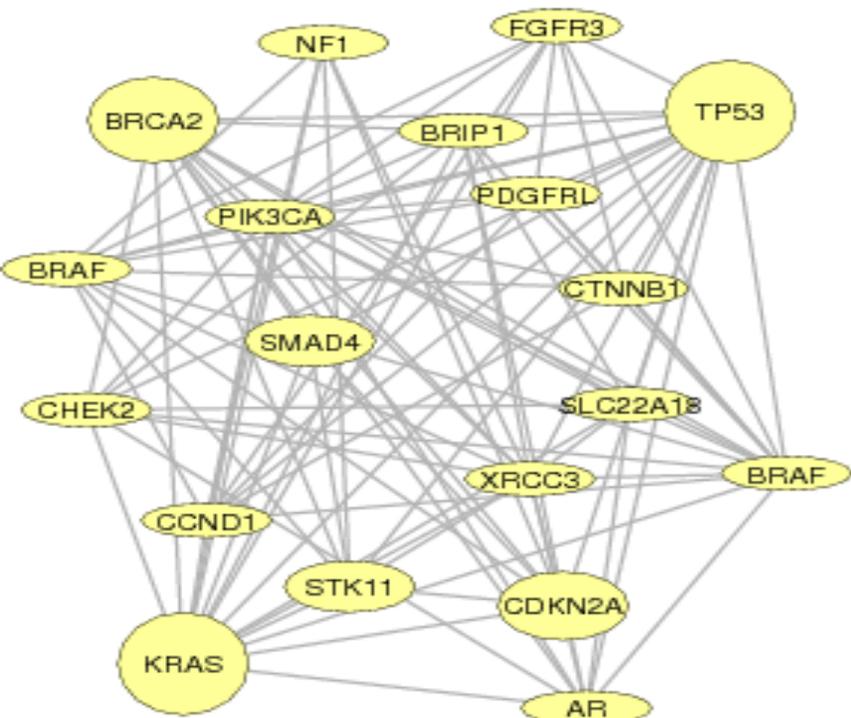


**Réka Albert** is a Romanian scientist. She is professor of physics and adjunct professor of biology at Pennsylvania State University and is noted for the **Barabási-Albert model**.



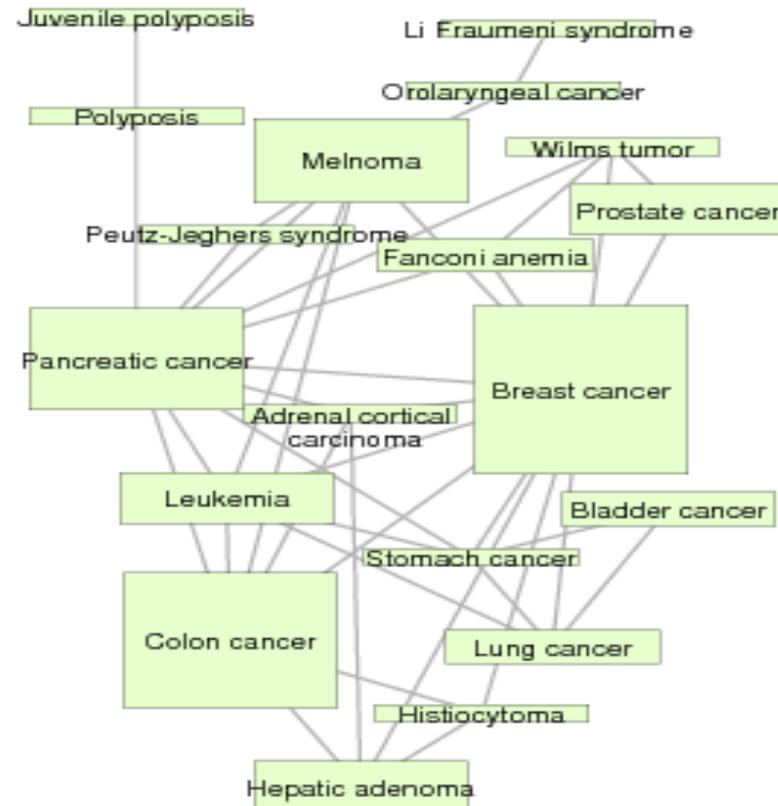
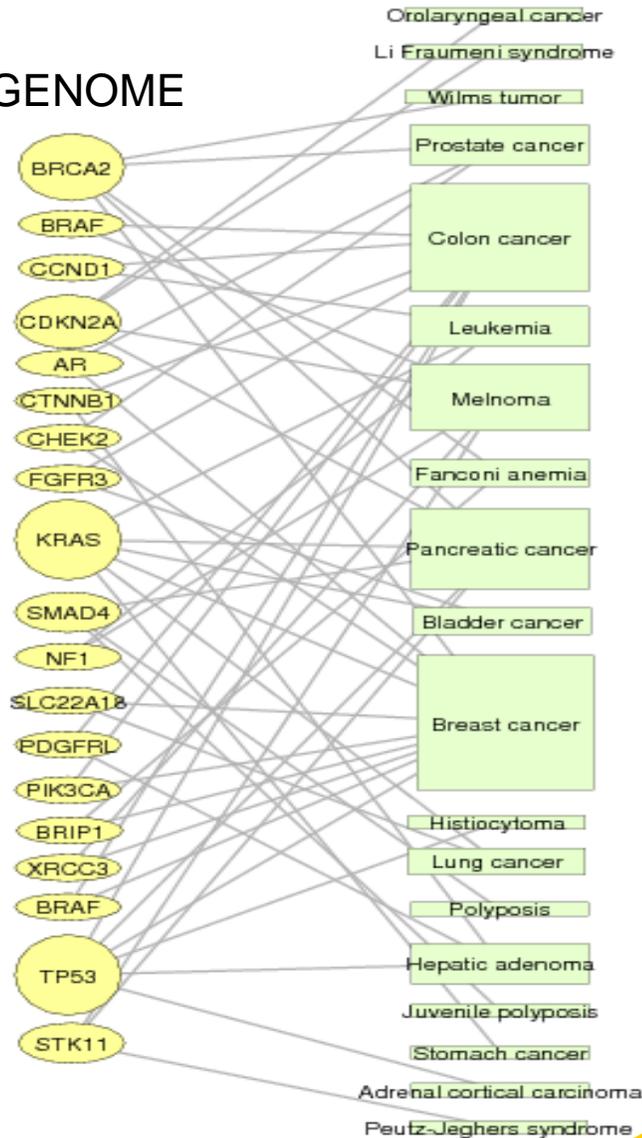
## DISEASOME

## PHENOME



**Gene network**

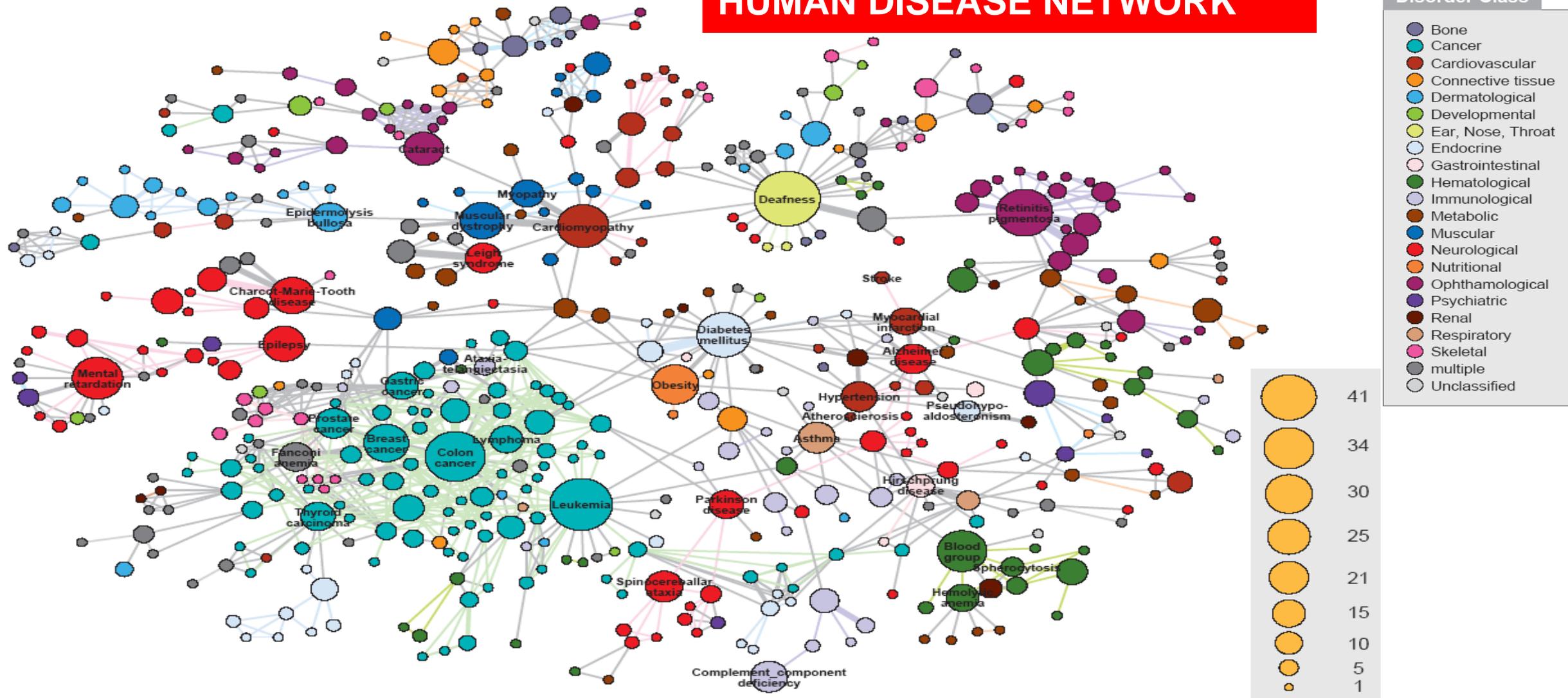
## GENOME



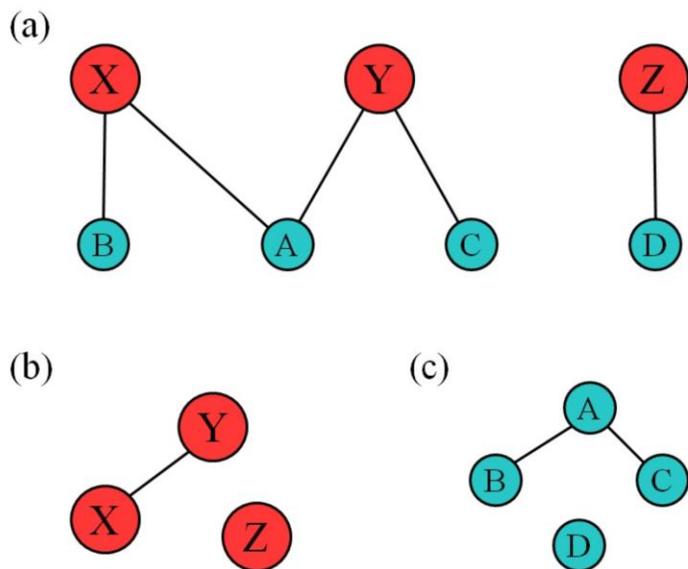
**Disease network**



### HUMAN DISEASE NETWORK



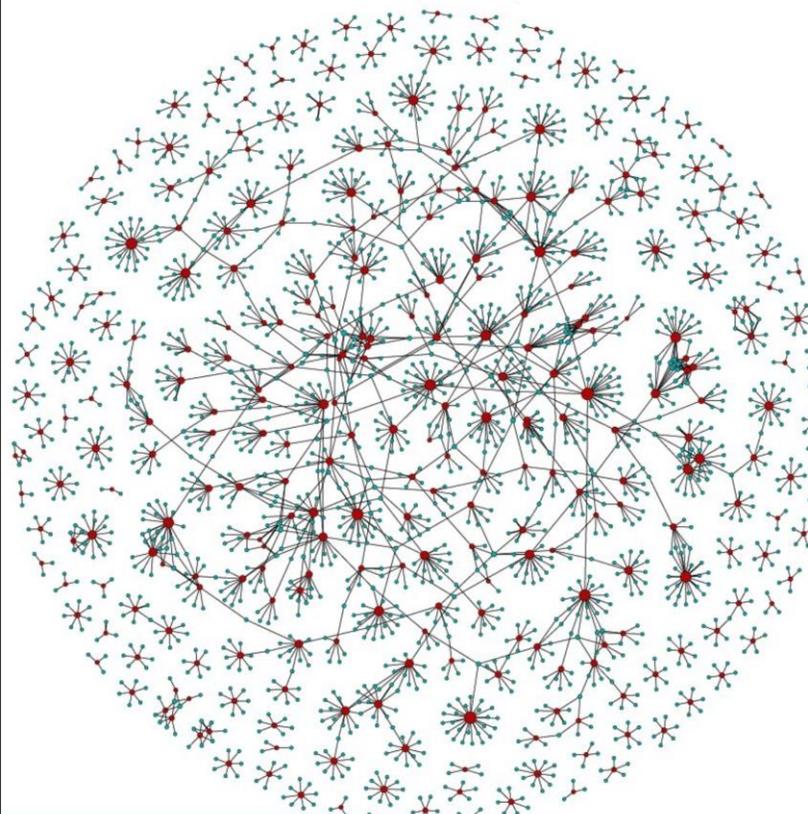
**Figura 9.** Rede Bipartida. Tese: p. 44



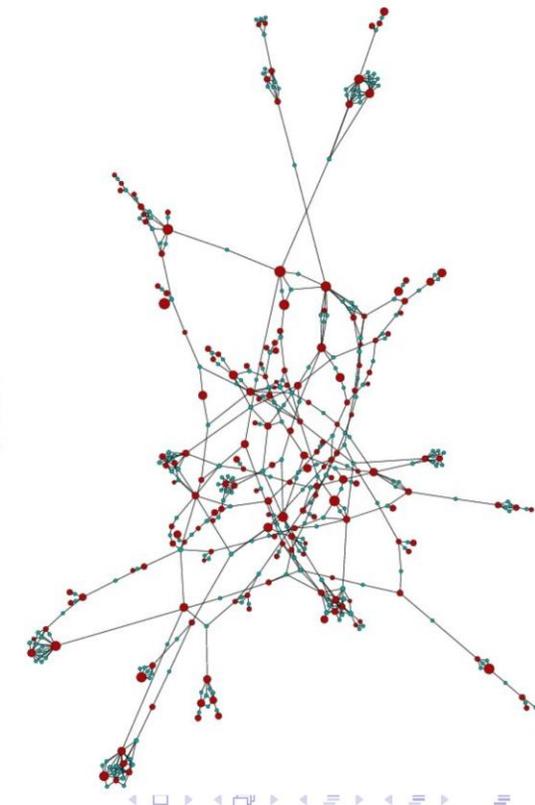
Resultados obtidos

## Resultados - Rede bipartida

**Figura 17.** Rede Bipartida com 310 empresas e 1997 conselheiros. Tese: p. 68



**Figura 19.** Rede Bipartida, 184 empresas e 257 conselheiros. Tese: p. 71



Evandro (USP - FEARP - RAD)

Defesa de Tese de Livre Docência

Abril de 2015

10 / 16

## Minimum Spanning Tree

## e Principais conselheiros

Resultados obtidos

### Estatísticas: Conselheiros

Figura 24. Conselheiros. Tese: p. 86

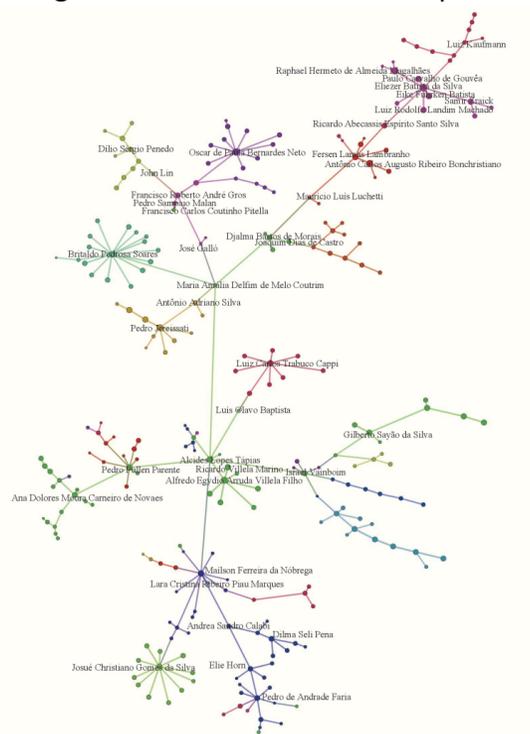
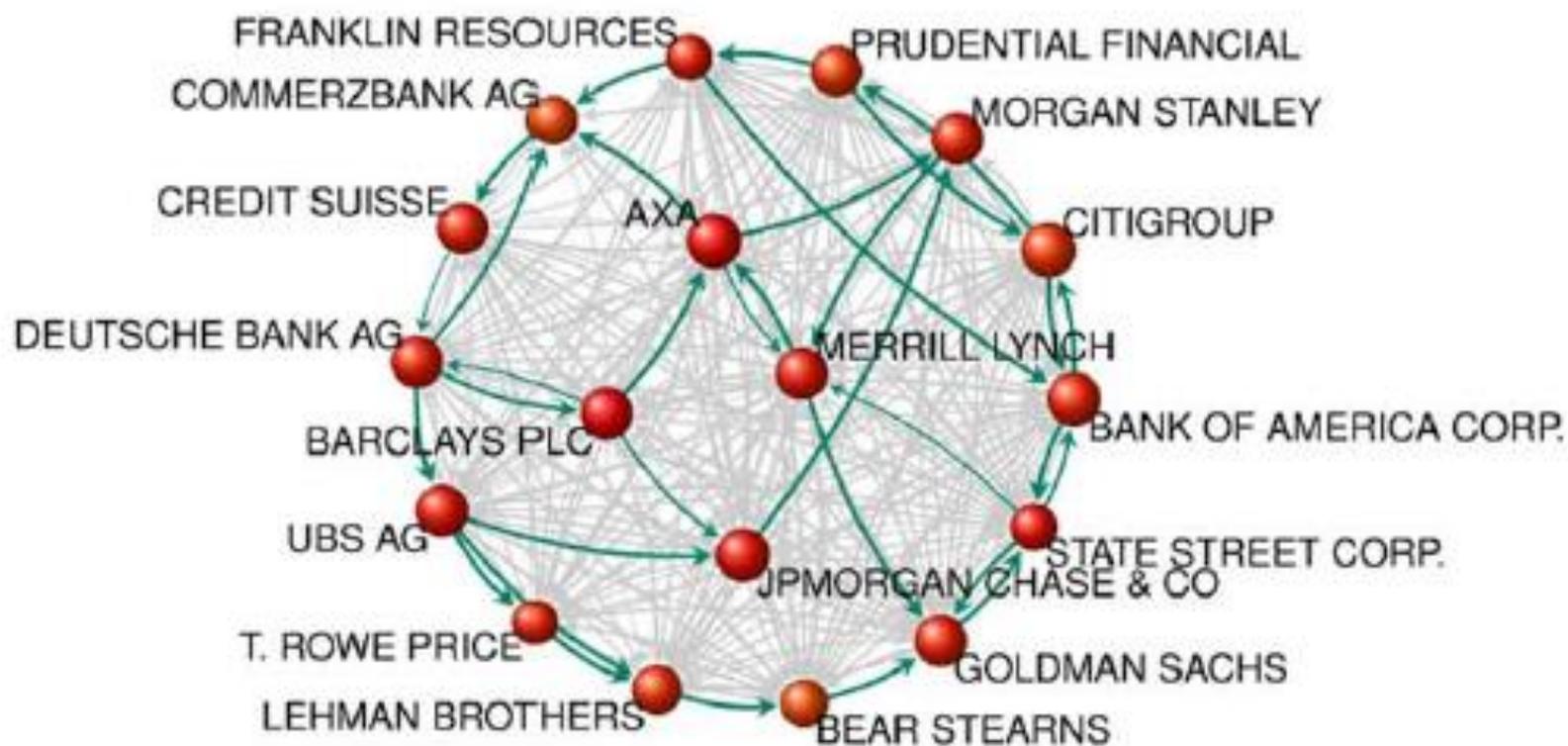


Tabela 12. Principais Conselheiros - Tese: p. 77

Conselheiro	PageRank	Grau P.	Intermed.
E.B.S.	0,008603	37	0,054043
R.H.A.M.	0,008225	35	0,017846
O.P.B.N.	0,008062	28	0,091376
A.E.A.V.F.	0,007439	27	0,004640
A.C.A.R.B.	0,007073	20	0,031758
P.J.	0,006911	16	0,017640
E.F.B.	0,006835	31	0,002282
P.P.P.	0,006793	20	0,100141
M.F.N.	0,006709	12	0,167711
A.L.T.	0,006647	19	0,190359
F.L.L.	0,006551	18	0,039979
R.V.M.	0,006458	23	0,004640
B.P.S.	0,006447	39	0,117647
L.R.L.M.	0,006433	29	0,002282
P.C.G.	0,006433	29	0,002282

VITALI, S.; GLATTFELDER, J. B.; BATTISTON, S. The Network of Global Corporate Control. **PLoS ONE**, Zurique, v. 6, n. 10, out. 2011.



## Participação Acionária em Empresas Listadas na B3 em 2018: Um Estudo de Redes

\*Caroline Alvarenga Carvalho

E-mail: [carolinealvcarvalho@gmail.com](mailto:carolinealvcarvalho@gmail.com)

† Evandro Marcos Saidel Ribeiro

E-mail: [esaidel@usp.br](mailto:esaidel@usp.br)

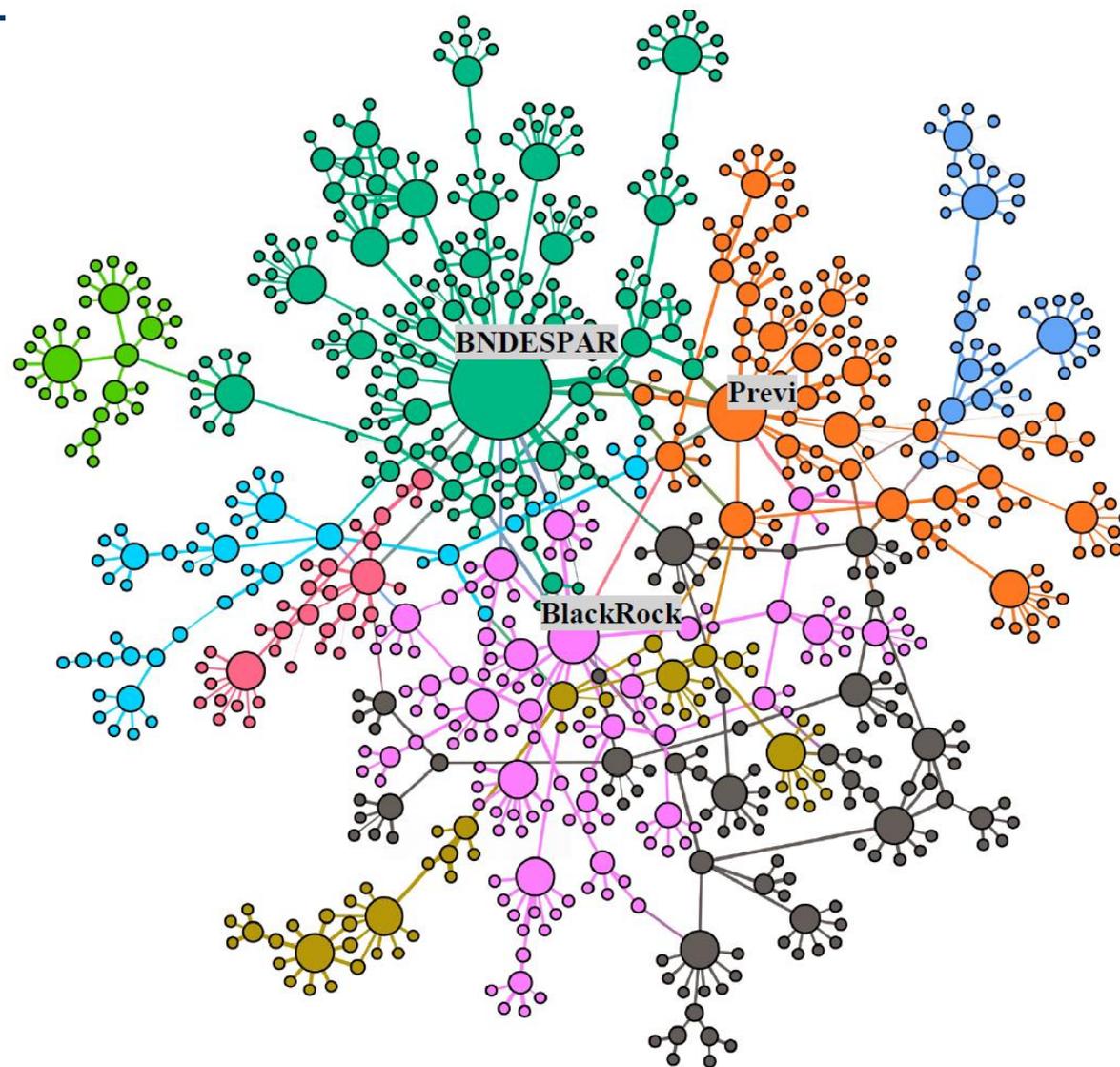
Recebido: 02/06/2018.

Revisado: 26/09/2018.

Aceito: 18/12/2018.

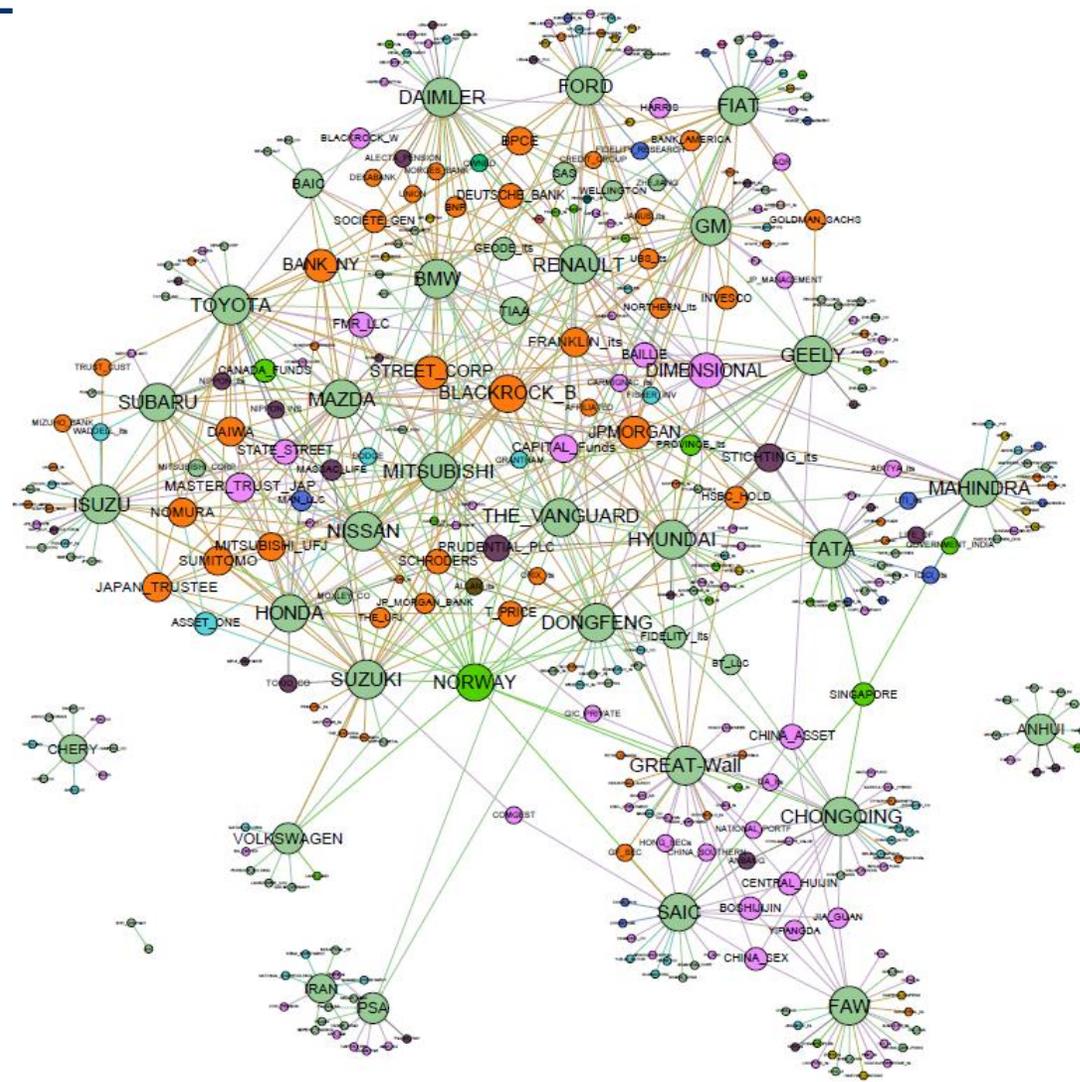
Publicado Online em: 21/08/2019.

DOI: <http://dx.doi.org/10.15728/bbr.2019.16.5.6>



Who controls the automotive industry? Owners, shareholders and financial institutions.

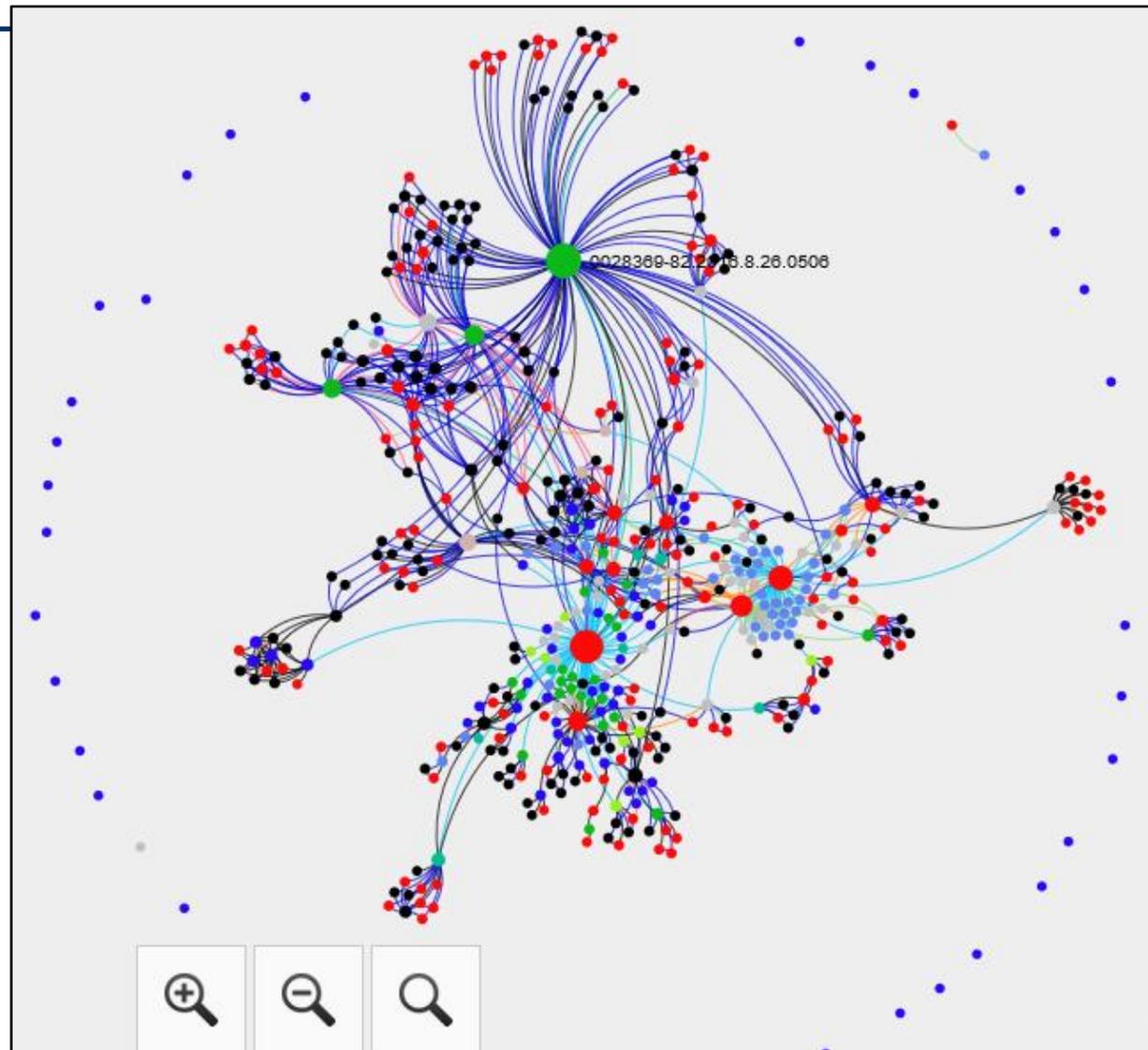
**M. Sacomano Neto, Marcelo J. do Carmo, Evandro M. S. Ribeiro, Wilton V. G. da Cruz.**  
26th International Colloquium of Gerpisa, 2018, São Paulo.



“Projeto Sevandija” (início):  
Análise de processos  
criminais.

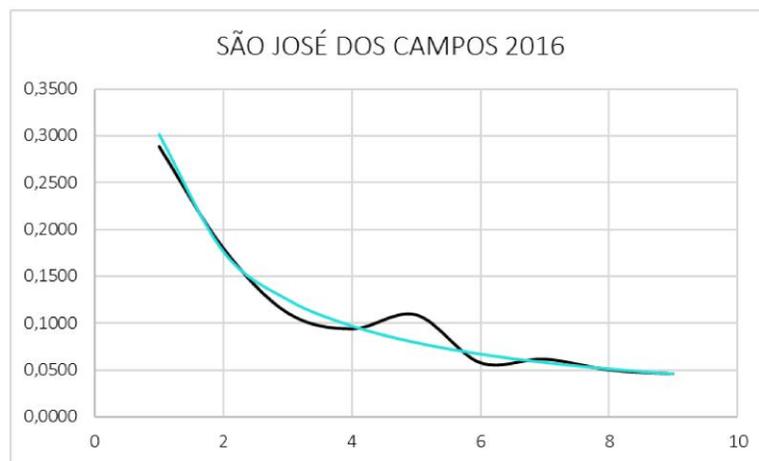
Luciana Morilas  
Ideberto Rodello  
Evandro Saidel  
Thiago T. de Oliveira

Projeto atual CNJ (*Conselho  
Nacional de Justiça*)  
Estudos de conciliação SP,  
RJ, PR, CE, PI

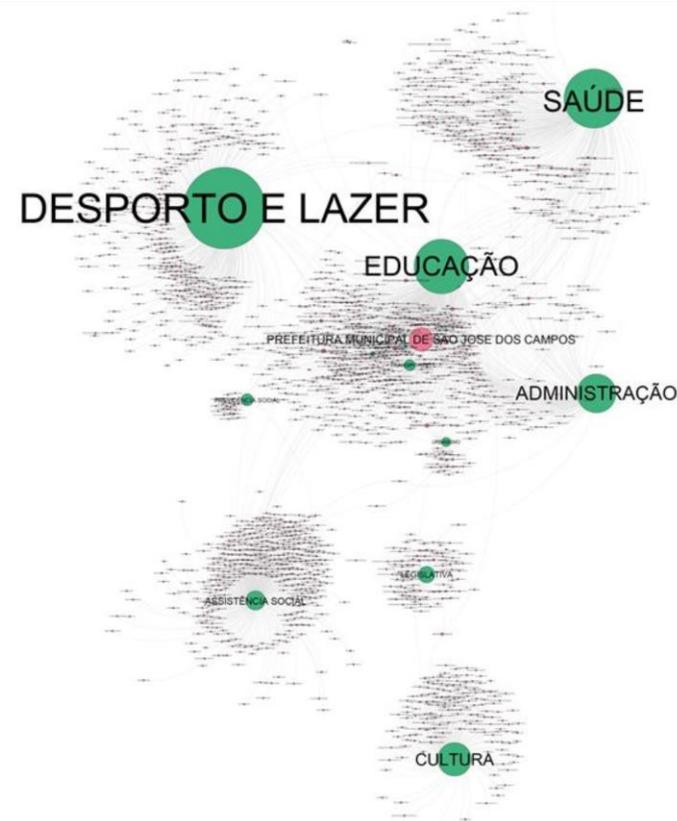


## SÃO JOSÉ DOS CAMPOS 2016

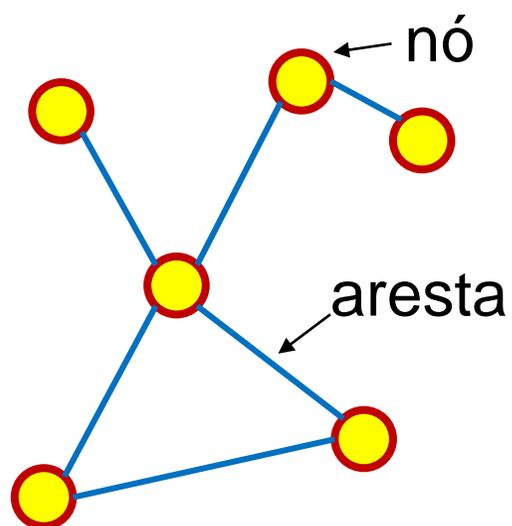
TCC FEARP: Helena Bettarello



DÍGITO	CONTAGEM	FREQUÊNCIA	ERRO
1	19196	0,2886	0,012
2	11979	0,1801	-0,004
3	7398	0,1112	0,014
4	6270	0,0943	0,003
5	7261	0,1091	-0,030
6	3866	0,0581	0,009
7	4125	0,0620	-0,004
8	3363	0,0506	0,001
9	3067	0,0461	0,000
<b>TOTAL</b>	<b>66525</b>		



Redes são conjuntos de nós conectados por arestas.



“Redes”  $\equiv$  “Grafos”

Pontos	Linhas	Área
Vertices	Edges, Arcs	Math
Nodes	Links	Computer Sci
Sites	Bonds	Physics
Actors	Ties, Relations	Sociology

Estudo multidisciplinar!!!

- **Lista de arestas**  $\{(1, 2), (1, 3), (1, 4), (2, 3), (3, 4)\}$

- **Lista de adjacências** 1: 2, 3, 4

2: 1, 3

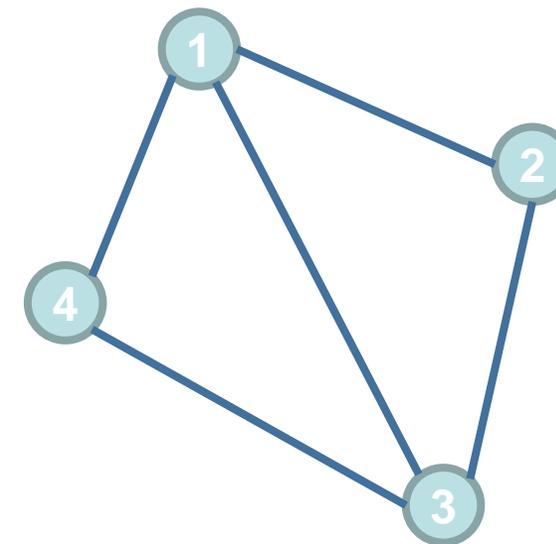
3: 1, 2, 4

4: 1, 3

- **Matriz de adjacências**

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

elemento  $A_{ij}$



# Conceitos básicos: Redes no R

- Os nós estão conectados?
- Qual é a distância entre eles?
- Alguns nós são mais importantes do que outros devido sua posição na rede?
- A rede é composta por comunidades?

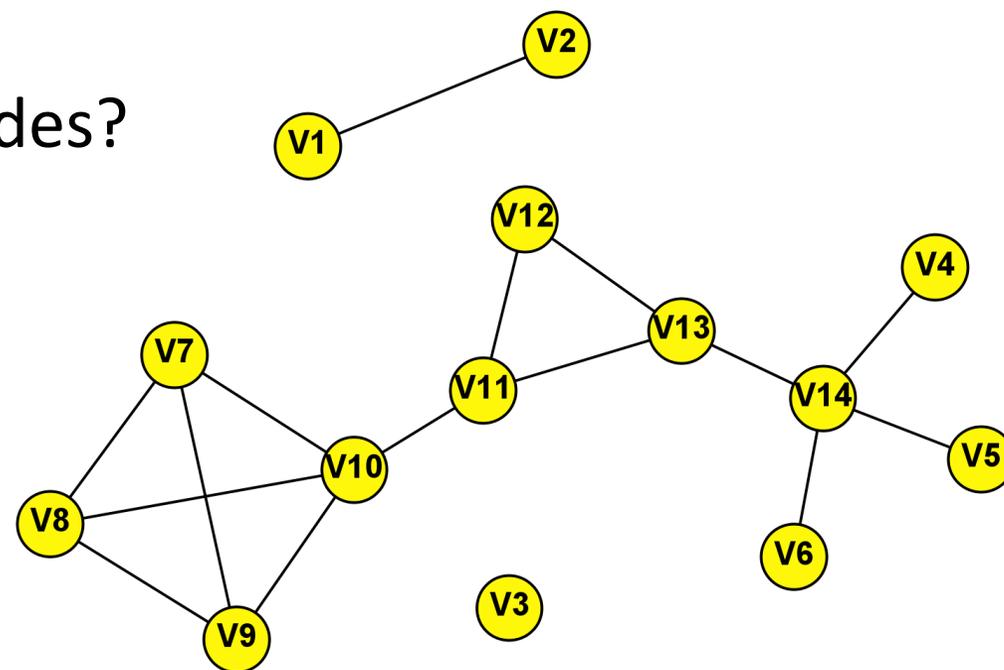
Considere o **Exemplo 01**:

Exemplo 1: Rede simples com 14 vértices -----

 [exemplo1.net](#)

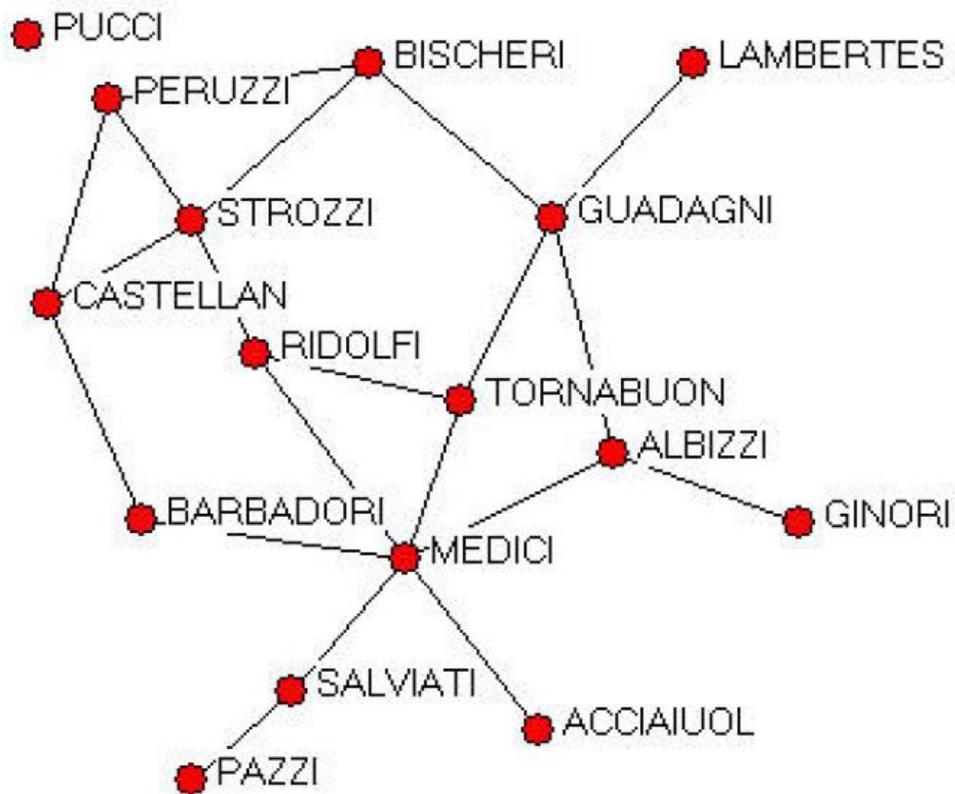
 [exemplo1.R](#)

 [exemplo1.Rmd](#)



Fonte:  
E.M.S. Ribeiro, Tese 2015.

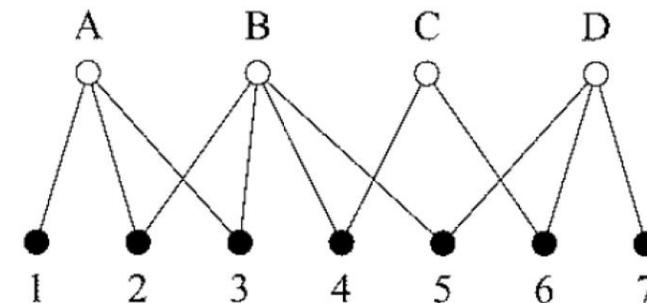
## Rede de casamentos entre famílias



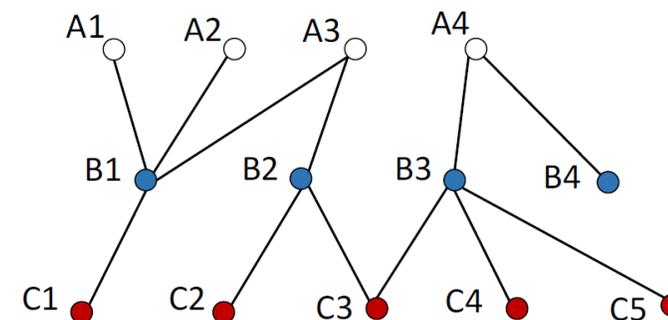
Exemplo 2: Casamentos entre famílias -----

- [calculos.R](#)
- [arquivoMarkdown.Rmd](#)
- [familias.net](#)

## Rede bi-partida



## Rede tri-partida



Exemplo 3: Redes multi-partidas -----

- [mpartida.R](#)
- [mpartida.Rmd](#)
- [mpartida\\_nos.csv](#)
- [mpartida\\_arestas.csv](#)



Diâmetro da rede:  $\max \{d_{ij}\},$

Densidade da rede:  $\frac{2}{N(N-1)} \sum_{i>1}^N A_{ij}$

Clustering (nó):  $C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)}$   $E_i$  é o número de arestas entre os  $k_i$  vizinhos do nó  $i$ .

Coeficiente de agrupamento médio (rede):  $C = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N C_i$

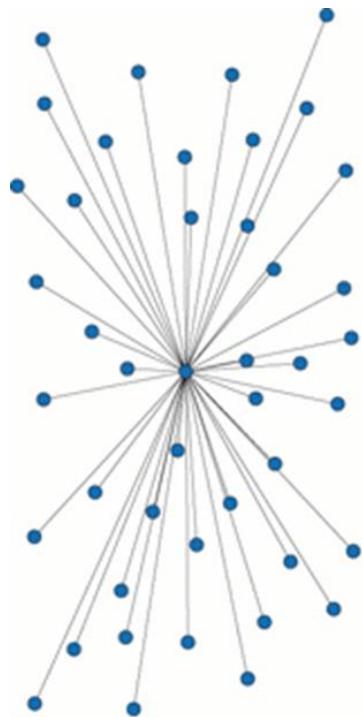
Grau de um nó  $i$ :  $k_i = \sum_{j=1}^N A_{ij}$  → número total de nós na rede

Grau médio (rede):  $\langle k \rangle = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N k_i$

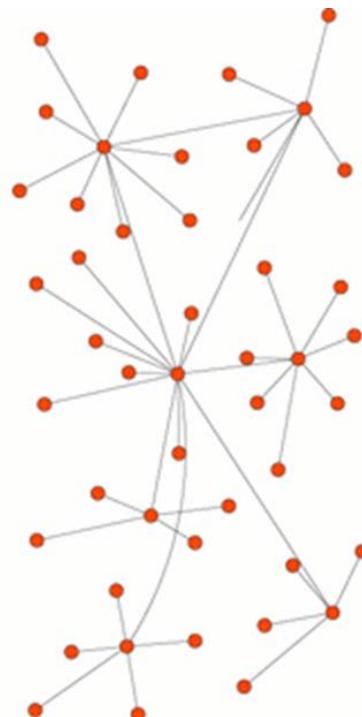
Distância entre dois nós (Path Length):  $d_{ij}$  → número de arestas entre o nó  $i$  e o nó  $j$

$E$ : Eficiência de comunicação (rede).  $E = \frac{1}{\ell_h} = \frac{2}{N(N-1)} \sum_{i>j}^N \frac{1}{d_{ij}}$

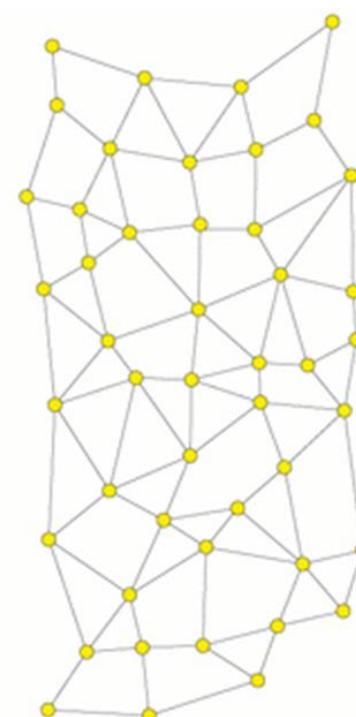
Average Path Length, ou Distância Característica (rede):  $\ell_h$



Centralizada



Descentralizada

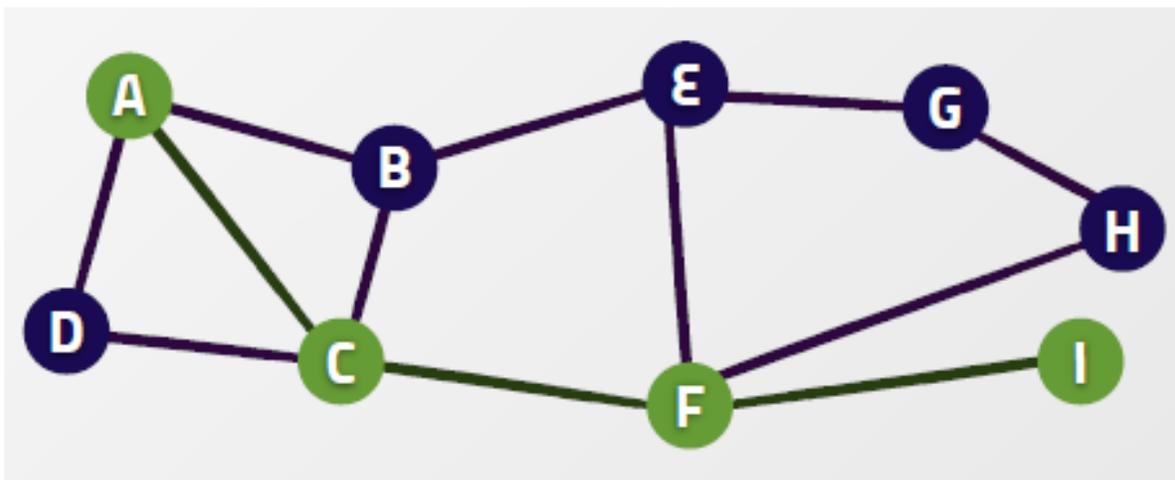


Distribuída

**Fonte:** Paul Baran. *On distributed communication: 1 - Introduction to distributed communication networks*. United States Air Force Project RAND, 1964



- **Node degree:** número de links do nó
- **in-degree, out-degree:** núm. links de entrada ou saída de um nó. Em grafos dirigidos a soma de in e out resulta no grau do nó
- **Average degree:** L (links), N (nodes)
  - não-dirigido  $\langle k \rangle = 2L \div N$
  - dirigido  $\langle k \rangle = L \div N$

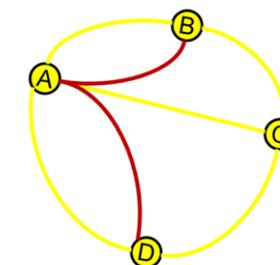
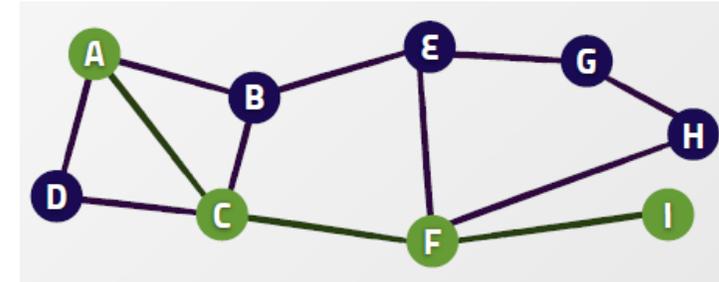


A **distância** entre dois vértices é definida pelo número de arestas do menor caminho que os conecta

A, B, C, F, I	4 arestas
A, B, E, G, H, F, I	6 arestas
A, D, C, F, I	4 arestas
<b>A, C, F, I</b>	<b>3 arestas</b>

- Caminho (path)
- Distância (shortest path)
- Diâmetro do grafo (maior distância no grafo)
- Distância média (average path length)
- Ciclo (n início = n fim)
- Caminho Euleriano (cada aresta uma vez)
 

TEOREMA: Um grafo conexo  $G$  é um **grafo de Euler** se e somente se todos os seus vértices são de grau par.
- Caminho Hamiltoniano (cada vértice uma vez)





## Conectividade dos grafos

- **Grafo não-dirigido:** **Connected** - dois nós quaisquer são alcançáveis por um caminho. **Disconnected** - formado por dois ou mais componentes não conectados entre si.
- **Grafo dirigido:** **Strongly Connected** - cada vértice qualquer possui um caminho para outro vértice (e vice-versa) Ex,  $A \rightarrow B$  e  $B \rightarrow A$ . **Weakly Connected** - é conectado se não considerarmos a direção das arestas

## Componentes Conectados

### Strongly connected components

B, C, D, E

A

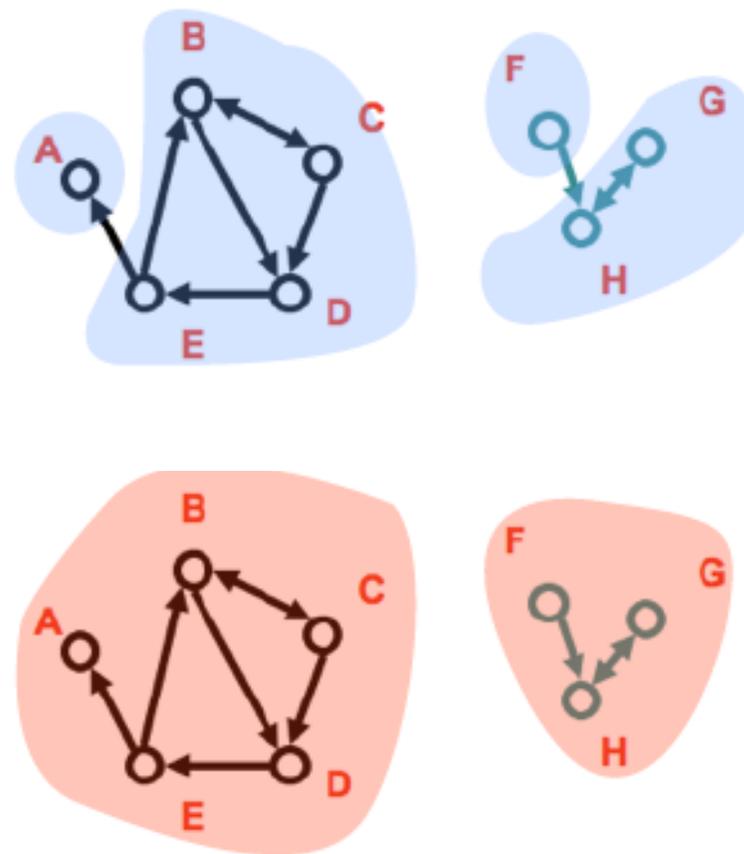
F

G, H

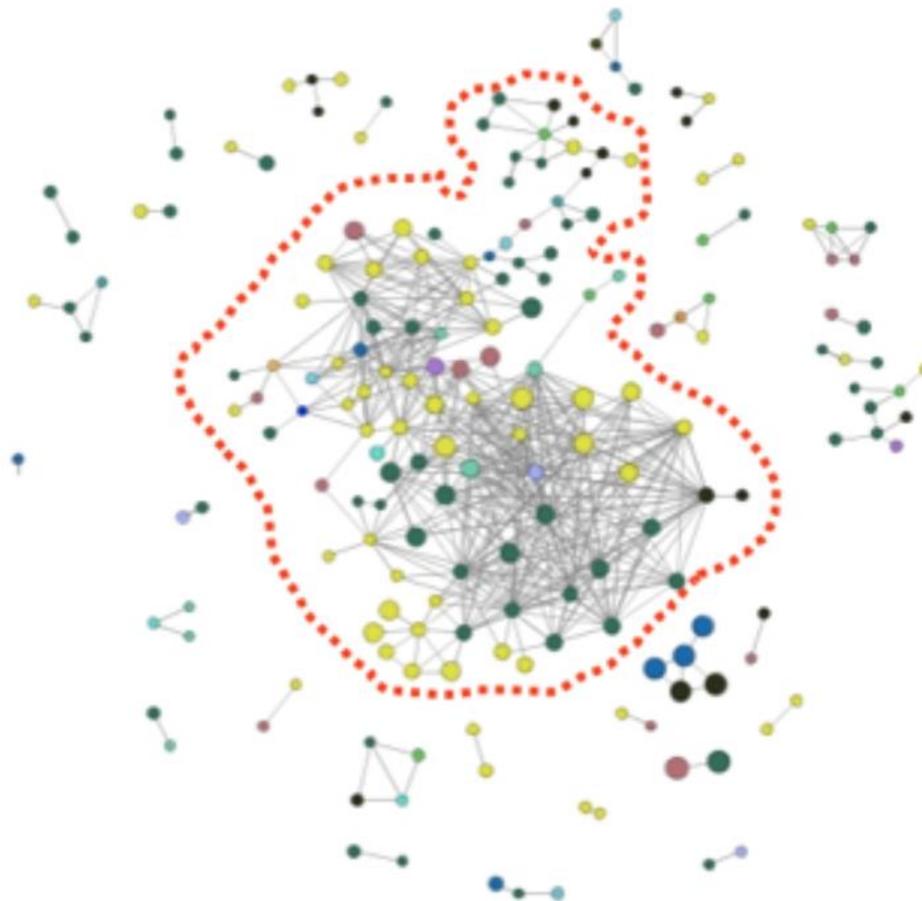
### Weakly connected components

A B C D E

G H F



**Componente Gigante:** (giant componente) componente que, geralmente, ocupa a maior fração da rede



## Degree distribution

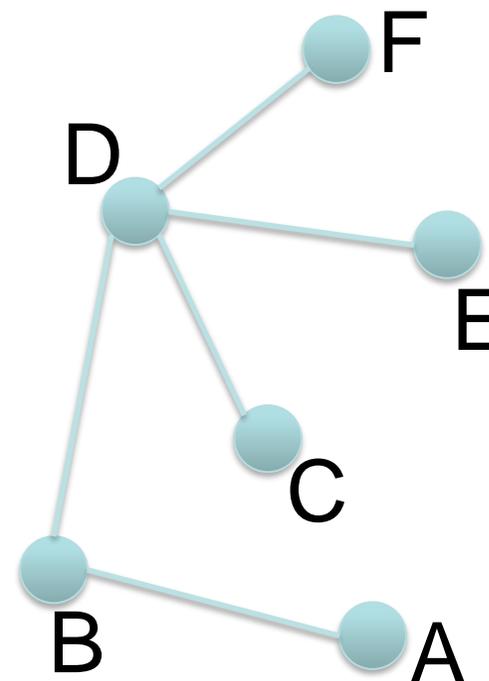
1 nó com 4 arestas

1 nó com 2 arestas

4 nós com 1 aresta

Distribuição:

$[(1: 4), (1: 2), (4: 1)]$

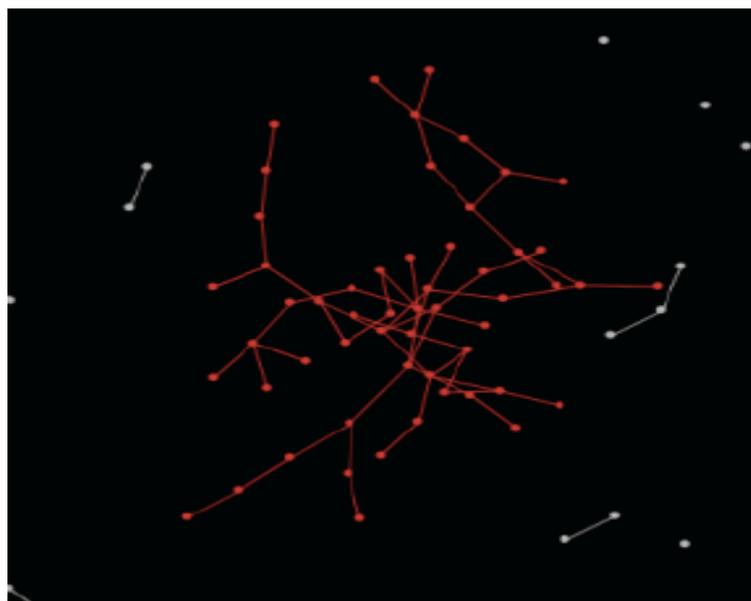


## Centrality (Centralidade de nó)

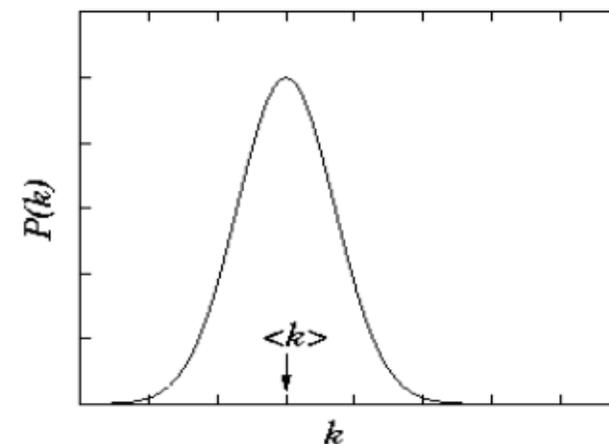
- **Degree** (Grau): Número de conexões de um nó.
- **Betweenness** (Intermediação): número de “shortest paths” de todos os nós para todos os outros nós que passam através de um nó em particular
- **Closeness** (proximidade): Comprimento médio das distâncias entre um nó específico e todos os outros nós no grafo.

## Random Network (Erdős-Rényi)

- Conexão aleatória entre os nós
- Distribuição binomial de ligações entre os nós.

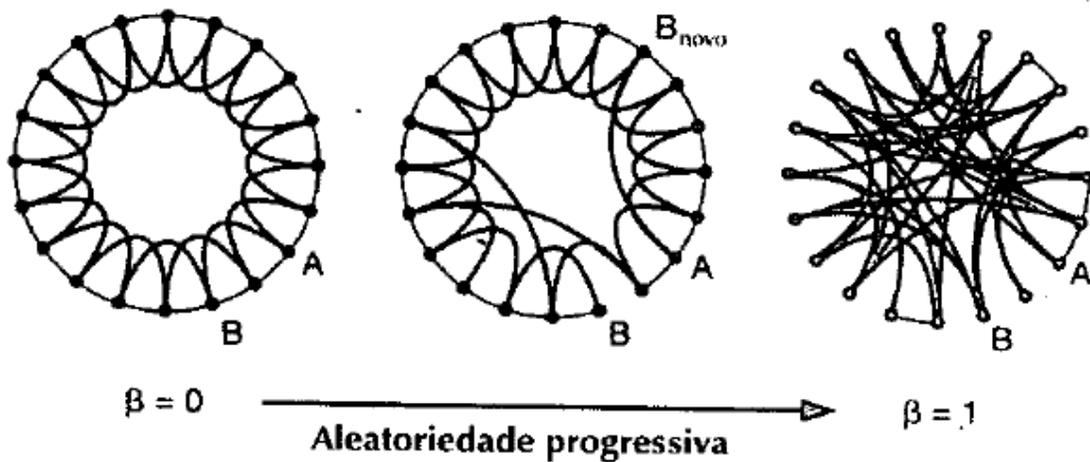


Poisson distribution

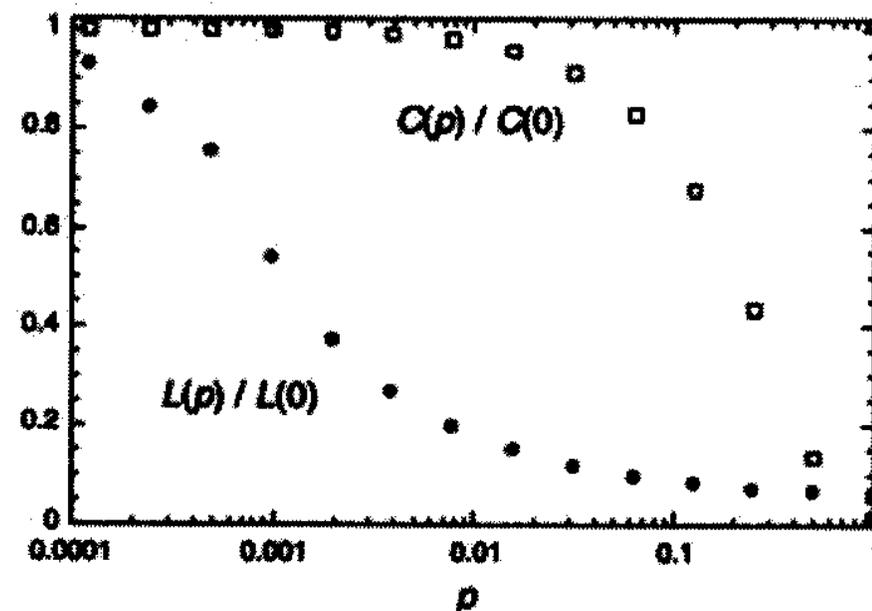


## Small world network (Watts-Strogatz)

- Six degrees of separation
- Clustering alto, Distância Característica baixa.

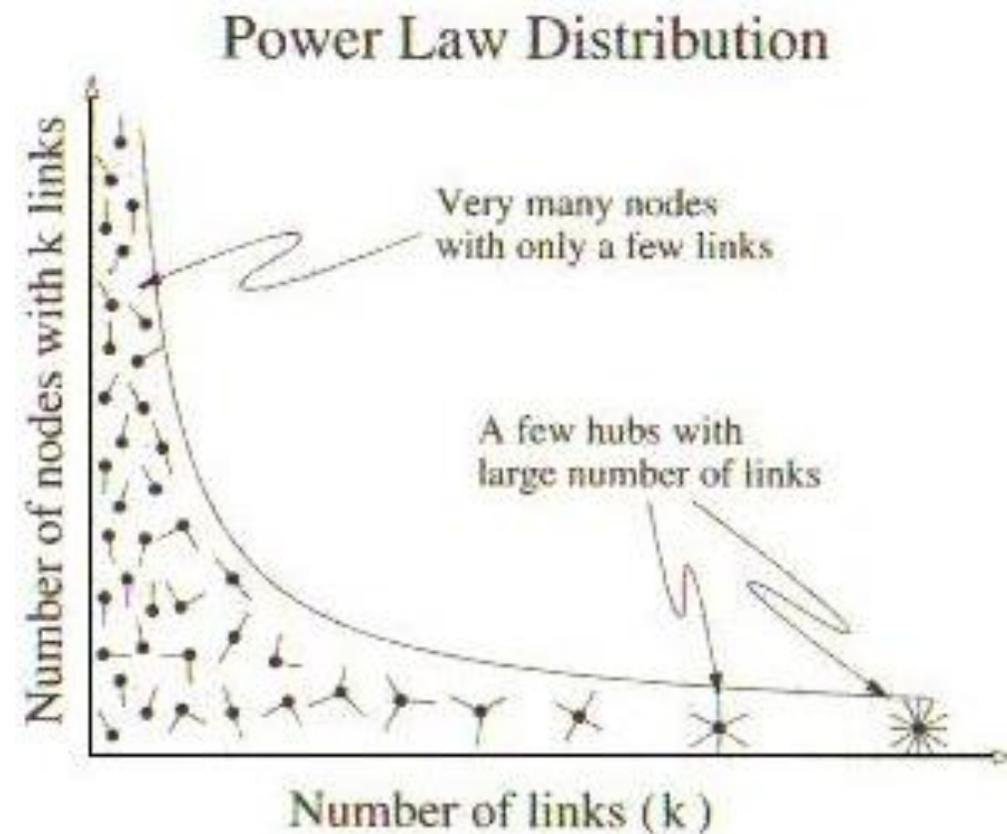


L: Path Length  
C: Clustering



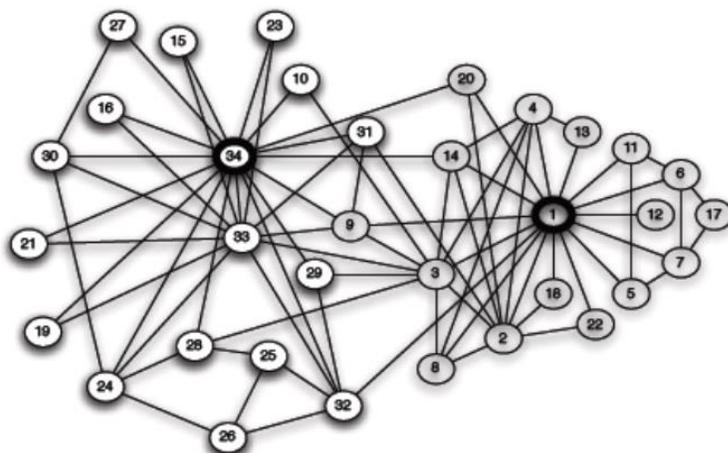
## Scale-free networks (Barabási-Albert)

- Power law distribution (Distribuição: lei de potência)

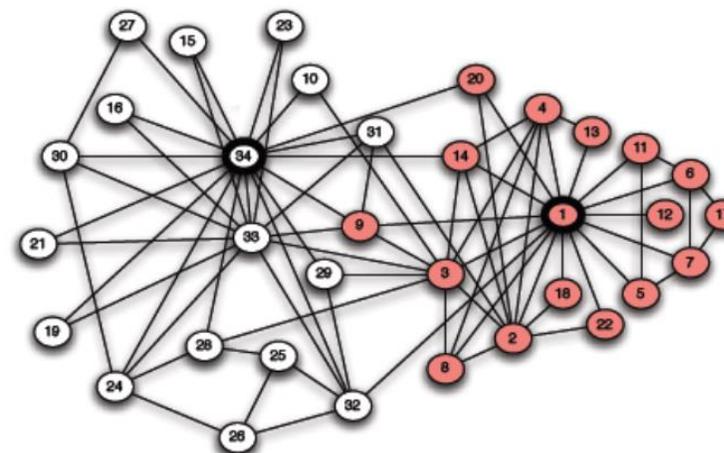


- Por que olhar para a estrutura de comunidades?
- Métodos para encontrar a estrutura.
- Medida de grupos isolados
- Entendendo a dinâmica/adoção da opinião

## Exemplo - Zachary Karate Club:

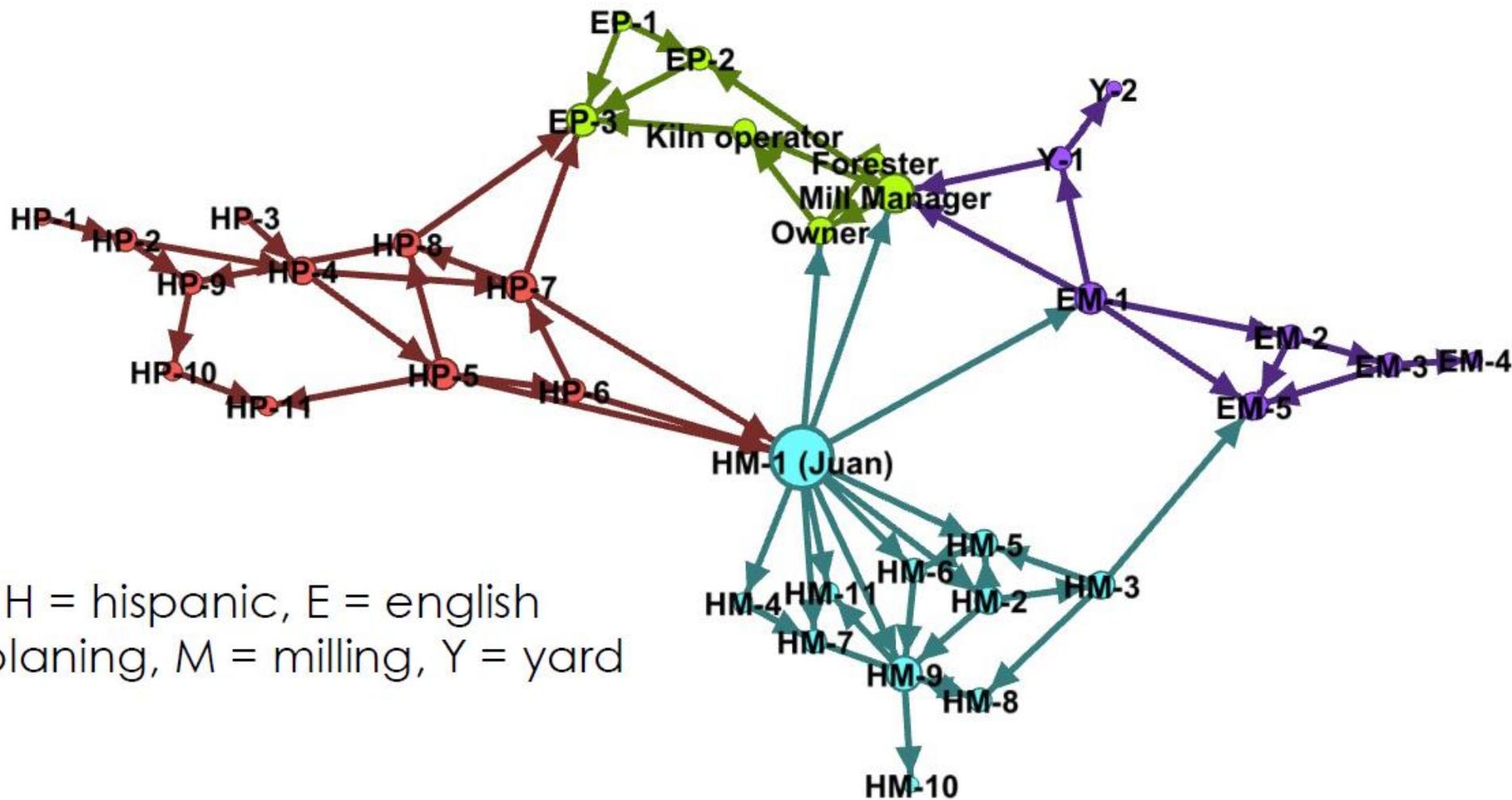


(a) *Karate club network*



(b) *After a split into two clubs*

## Exemplo - Sawmill network:

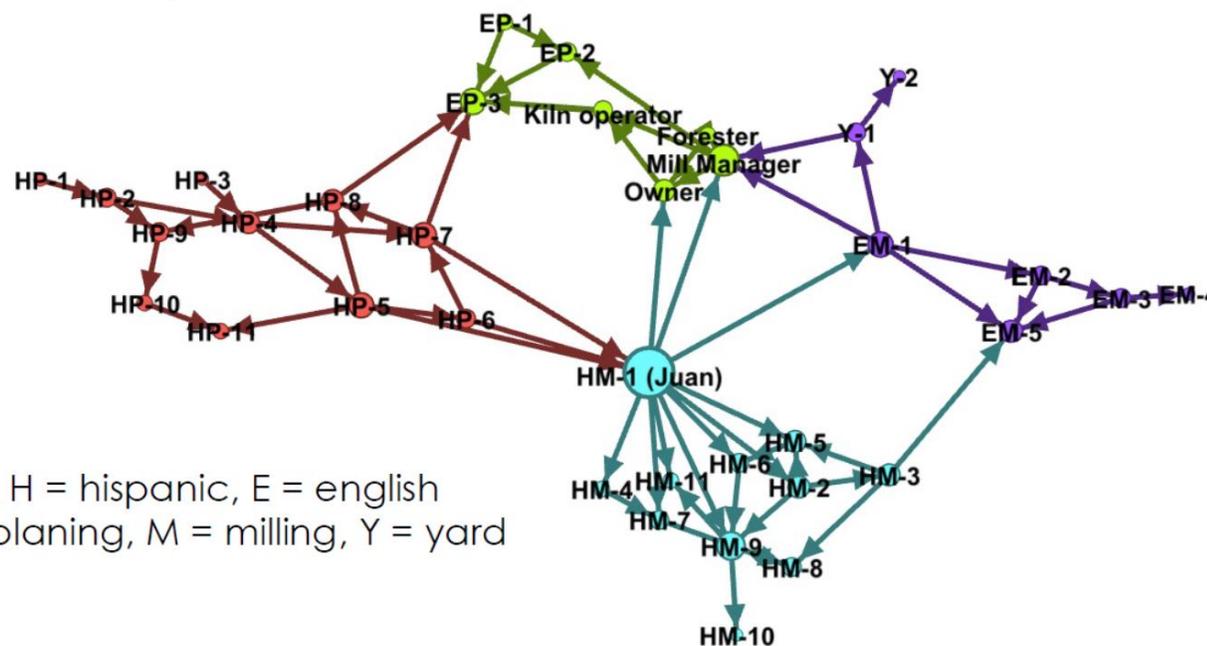


Key, H = hispanic, E = english  
 P = planing, M = milling, Y = yard

**Exemplo - Sawmill network:** O gerente da Sawmill estava com dificuldade de convencer os trabalhadores a adotarem um novo plano, mesmo sabendo que todos seriam beneficiados. Em particular trabalhadores hispânicos (H) estavam relutantes. O gerente chamou um sociólogo que mapeou quem conversa com quem de forma regular. Então ele sugeriu ao gerente falar com Juan e deixar Juan falar com os hispânicos. A ação foi um sucesso e prontamente todos abraçaram o novo plano.

Por que?

Formação de opinião!



Key, H = hispanic, E = english  
P = planing, M = milling, Y = yard



## O que forma uma comunidade?

- **Compartilhamento de laços**
  - Todos no grupo se conhecem
- **Frequência de laços entre membros**
  - Todos no grupo tem ligações com, pelo menos,  $k$  outros no grupo
- **Proximidade ou alcance de membros de subgrupos**
  - Indivíduos são separados por no máximo  $n$  passos
- **Frequência relativa de laços entre membros de subgrupos comparada àquela entre não-membros**

## O que forma uma comunidade?

Cada membro do grupo tem ligação com outro membro.

Porém:

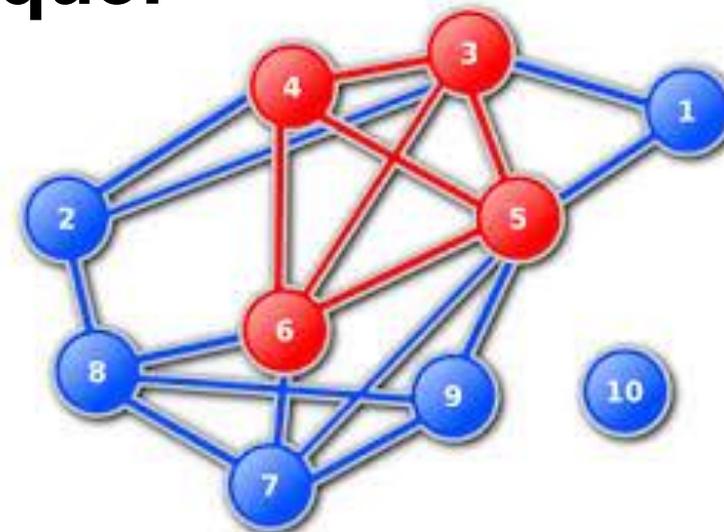
## Não é uma hipótese robusta:

- Um link ausente pode desqualificar um clique

## Não é muito interessante:

- Todo mundo deve estar conectado em todo mundo
- Não apresenta estrutura centro-periferia
- Não diferencia medidas de centralidade

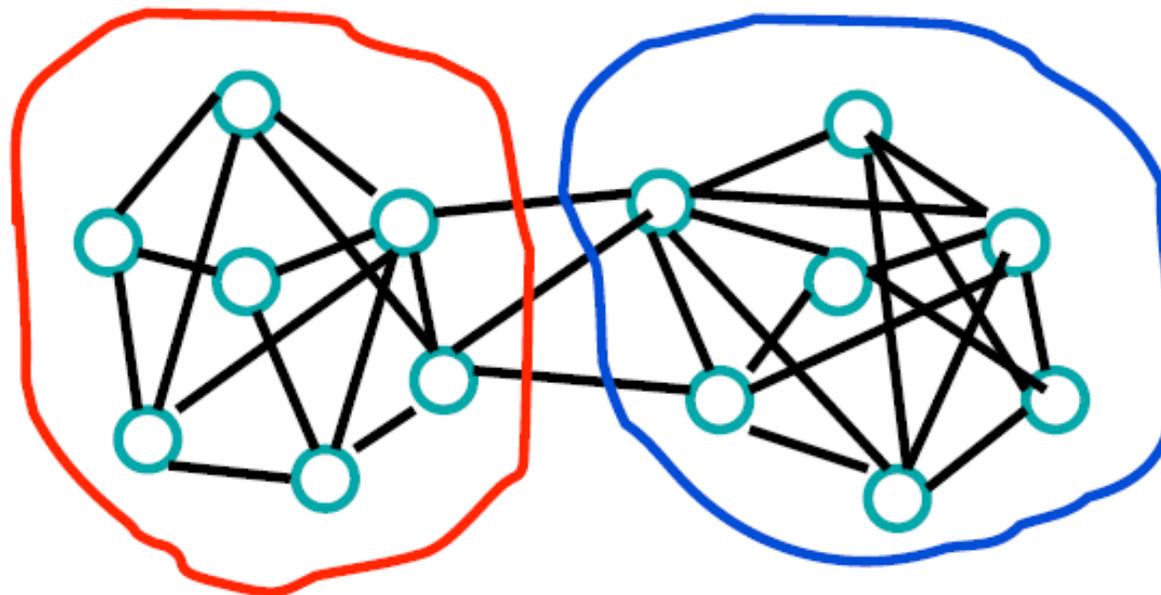
## Clique:



**O que forma uma comunidade?  $k$ -cores:**

Cada nó num grupo é conectado a  $k$  outros nós no grupo.

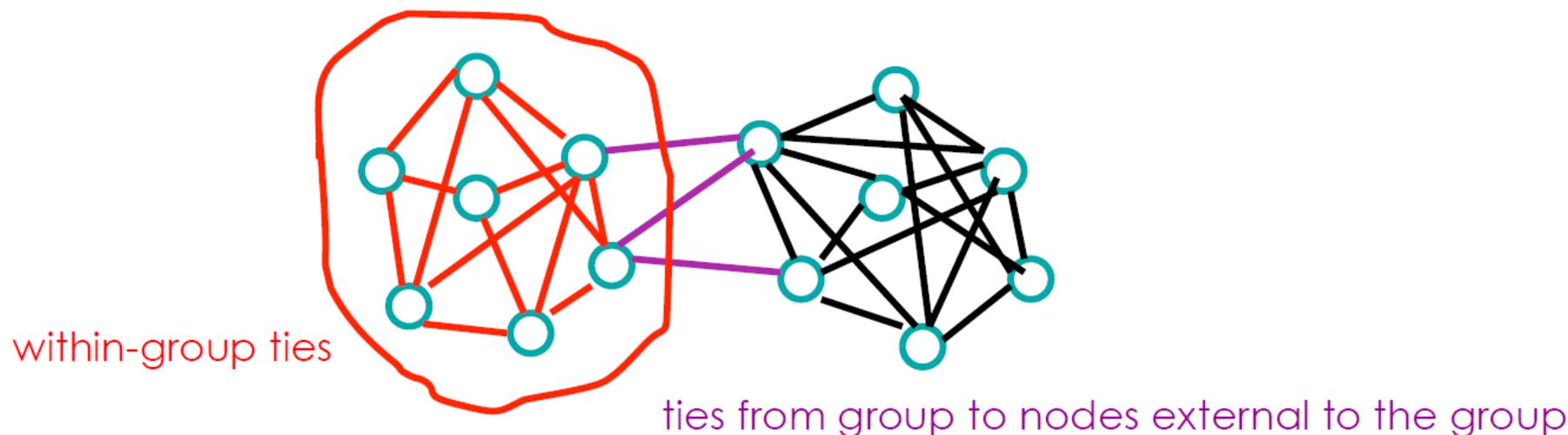
Problema semelhante ao clique.



O que forma uma comunidade?  $p$ -clique

**$p$ -cliques: Frequência de laços no grupo:**

A rede é particionada em grupos nos quais os nós tem pelo menos uma proporção  $p$  (número entre 0 e 1) de vizinhos dentro do grupo



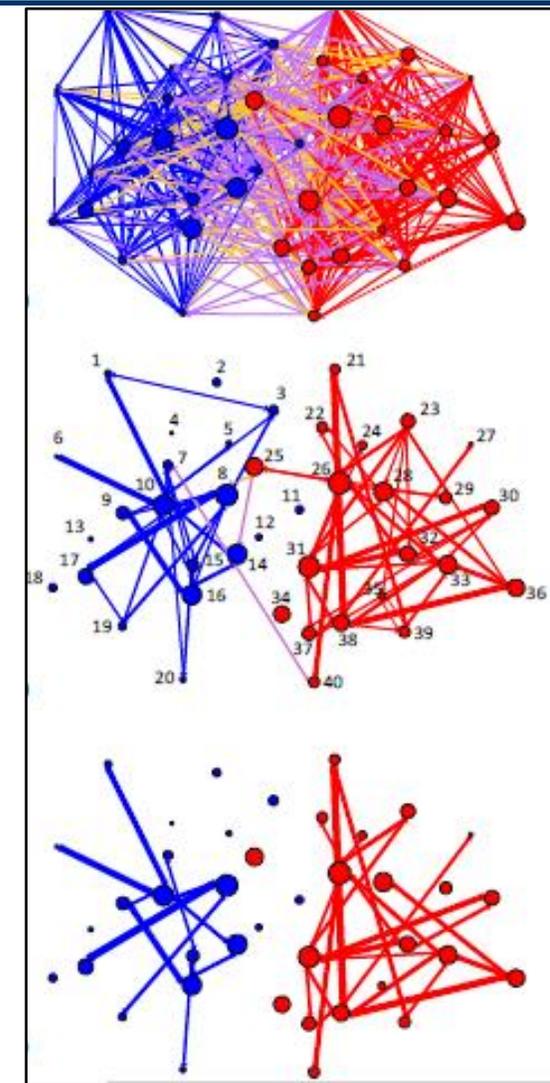
## O que forma uma comunidade?

Ex. Political Blog

Adamic & Glance, LinkKDD2005:

### Estratégia:

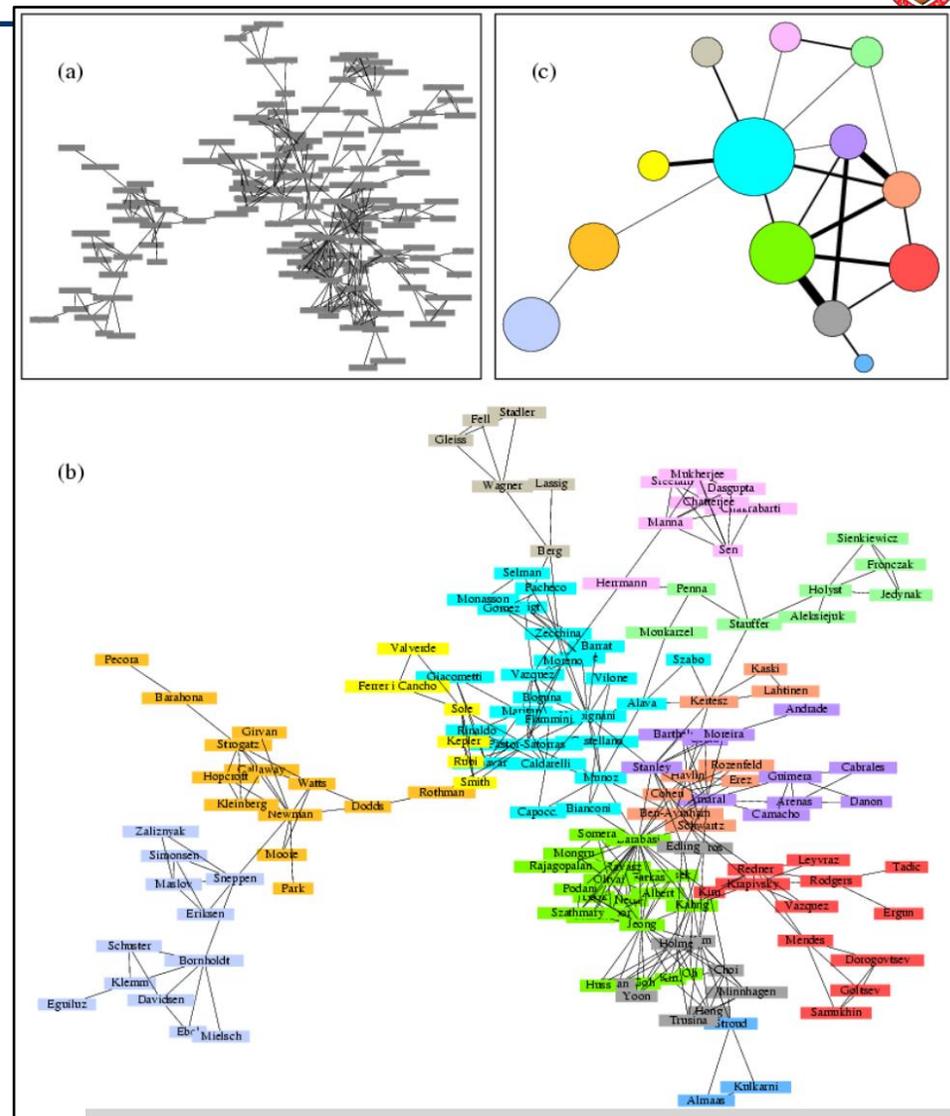
- Encontrar componentes conectadas fortemente
- Manter apenas um subconjunto de laços antes de encontrar componentes conectadas.



## Modularidade:

*Finding community structure in very large networks*

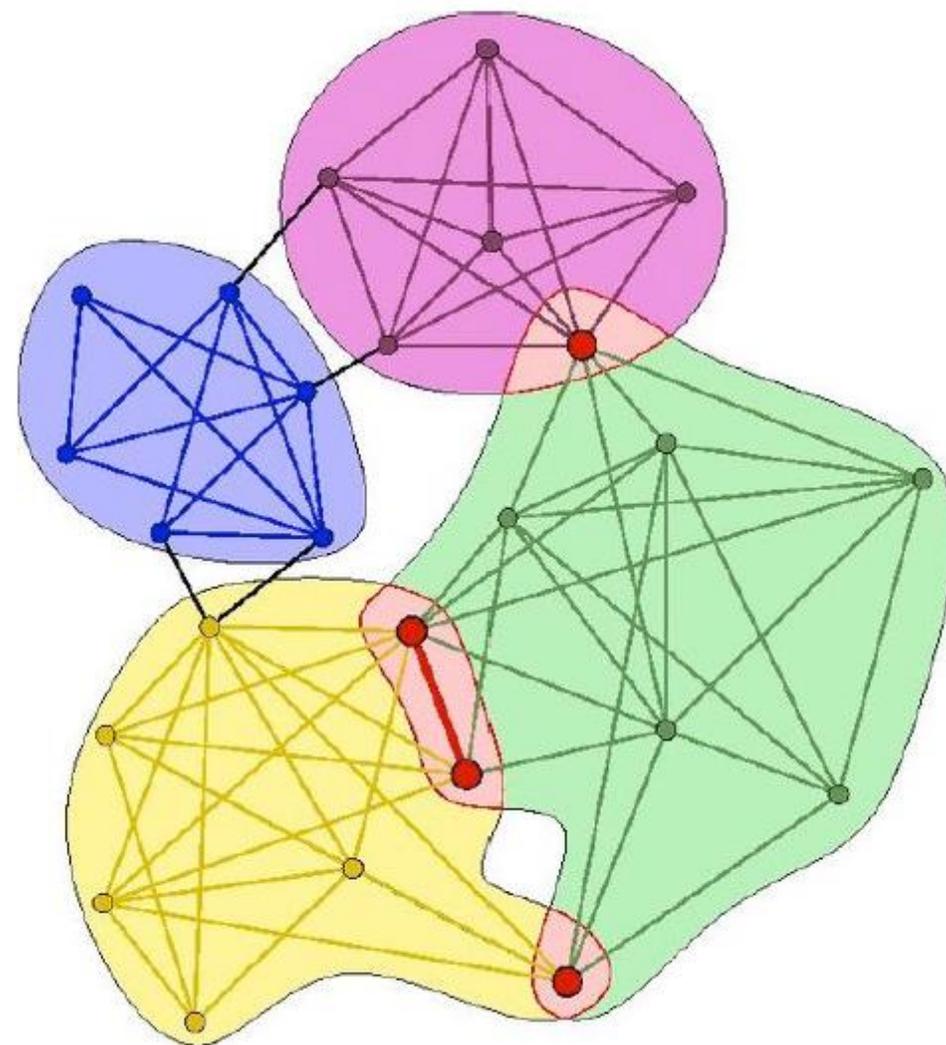
Aaron Clauset,  
M. E. J. Newman,  
Christopher Moore 2004.



## Clique Finder

<http://cfinder.org>

*Uncovering the overlapping community structure of complex networks in nature and society* G. Palla, I. Derényi, I. Farkas, and T. Vicsek:  
Nature 435, 814–818 (2005)



**BARABÁSI A.L.**, Network Science, <http://networksciencebook.com/> (Acesso em junho/2021).

**BORGATTI S.P., EVERETT, M.G., JOHNSON J.C.**, Analyzing Social Networks, SAGE Publications, London, 2013, ISBN: 978-1-526-40410-7.

**JACKSON M.O.**, Social and Economic Networks, Princeton University Press, 2010, ISBN 978-0-691-14820-5.

**NEWMAN M., Networks: An Introduction**, Oxford University Press, 2010, ISBN 978-0-199-20665-0.

**OGNYANOVA K.**, Network analysis with R and igraph: NetSci X Tutorial, NetSciX 2016 School of Code Workshop, Wroclaw, Poland

**RIBEIRO E.M.S.**, Árvore geradora mínima aplicada ao estudo da interligação administrativa em empresas listadas na BM&FBOVESPA, Tese de Livre Docência, Ribeirão Preto, 2015, DOI: 10.11606/T.96.2017.tde-29082017-175531.

**SINHA S., CHAKRABORTI A.C.A., CHAKRABARTI B.K.**, Econophysics: An introduction. Weinheim, Federal Republic of Germany: Wiley-VCH Verlag GmbH & Co.KgaA, 2011, ISBN: 978-3-527-40815-3.

**WATTS D.C.**, Seis Graus de Separação – A evolução da ciência de redes em uma era conectada, Editora Leopardo, 2010, ISBN 978-8-562-95302-6.