

PADRÕES GLOBAIS DA REDE

Prof. Fabrício Olivetti de França
folivetti@ufabc.edu.br



Universidade Federal do ABC

DISTÂNCIA ENTRE NÓS

O Caminho da Informação

Uma das propriedades mensuráveis em uma rede é a **distância média** entre os nós e o **diâmetro**.

A distância média indica qual a distância esperada que será percorrida caso uma informação seja transmitida de A para B, escolhidos ao acaso.

O diâmetro nos dá a distância máxima que será percorrida, dentre todas as possibilidades.



O Caminho da Informação

Esses valores podem nos ajudar a:

- ❑ O tempo médio que um produto é entregue a um consumidor.
- ❑ Quão rápido um boato será difundido em uma rede social.
- ❑ Estimar a velocidade que um vírus se espalha.



O Caminho da Informação

Não basta apenas conhecer qual é a menor distância entre dois pontos, também é importante saber o caminho dessa distância para:

- ❑ Transportar os produtos no menor caminho possível até o destino.
- ❑ Usar o mínimo de energia absorvida do sol para que ela alcance todos os predadores.
- ❑ Transmitir dados na internet com a menor latência possível.



O Caminho da Informação

A importância de conhecer o melhor percurso entre dois nós em uma rede transcende a simples economia de custos e recursos.

Em muitos casos a própria estrutura da rede é determinada pela própria otimização do caminho.





Universidade Federal do ABC

DISTÂNCIA EM REDES NÃO PONDERADAS

Percurso em Redes Sociais

Em uma rede social os nós são representados pelas pessoas pertencentes à rede e as arestas indicam que duas pessoas tem alguma relação de contato entre si.

Por exemplo, no Facebook os nós são os usuários cadastrados e as arestas indicam que duas pessoas fazem parte da lista de amigos uma da outra.



Percurso em Redes Sociais

Certo usuário resolve publicar em seu mural uma propaganda de um produto desenvolvido por ele.

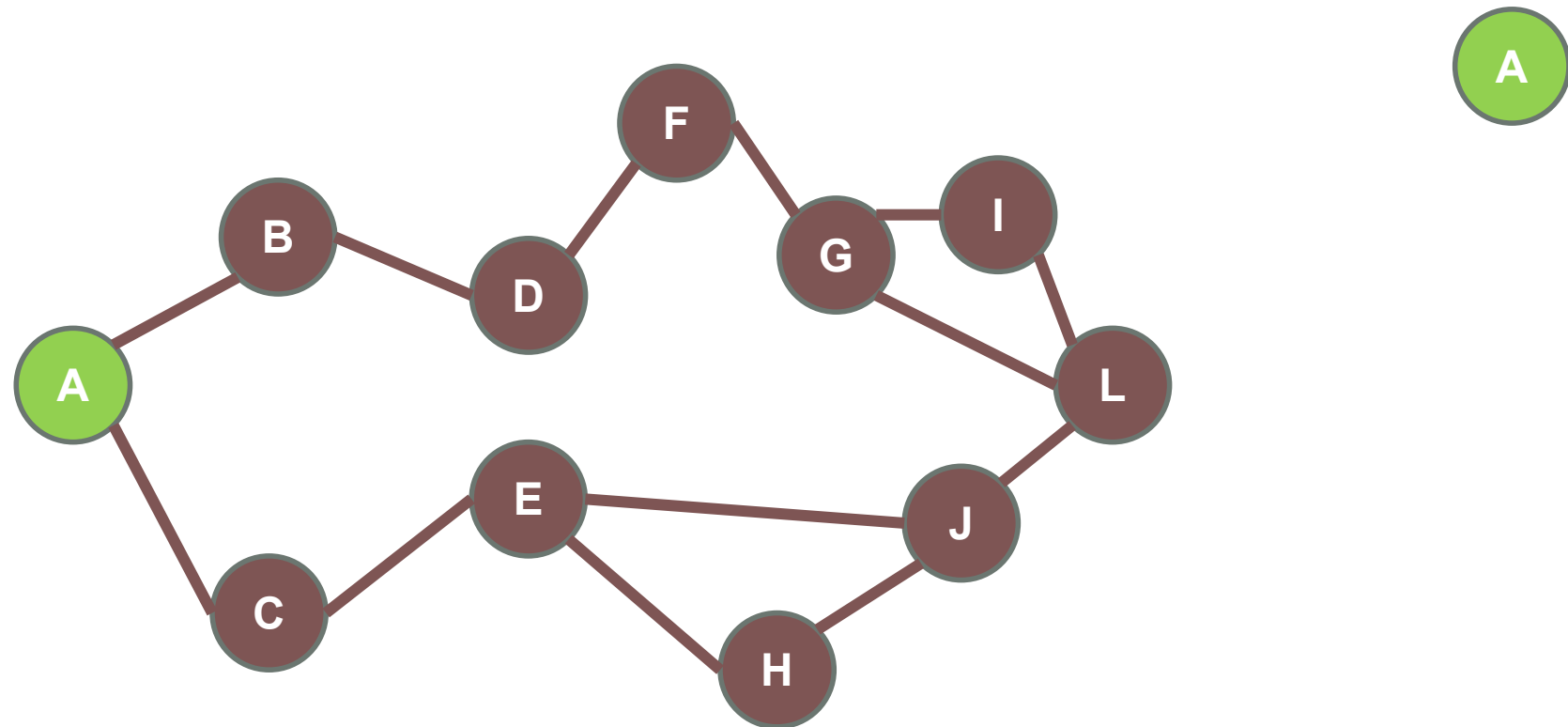
Como essa propaganda se espalha pela rede?

Supondo que todos que olham a propaganda compartilham em seu mural, quantos passos serão necessários para atingir a rede toda?



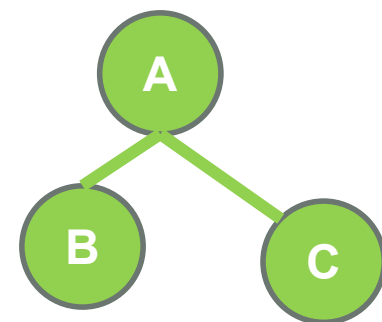
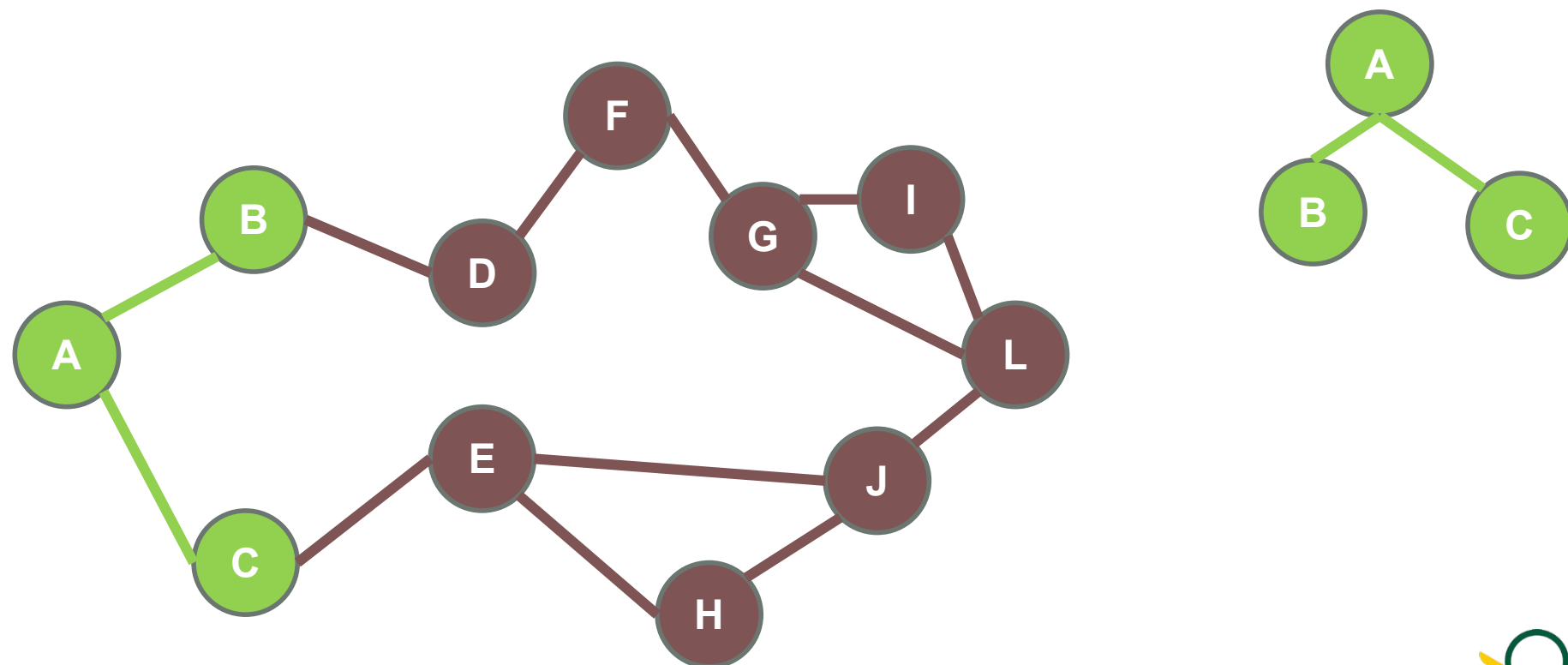
Percurso em Redes Sociais

Vamos supor que a informação começa a se espalhar pelo nó A.



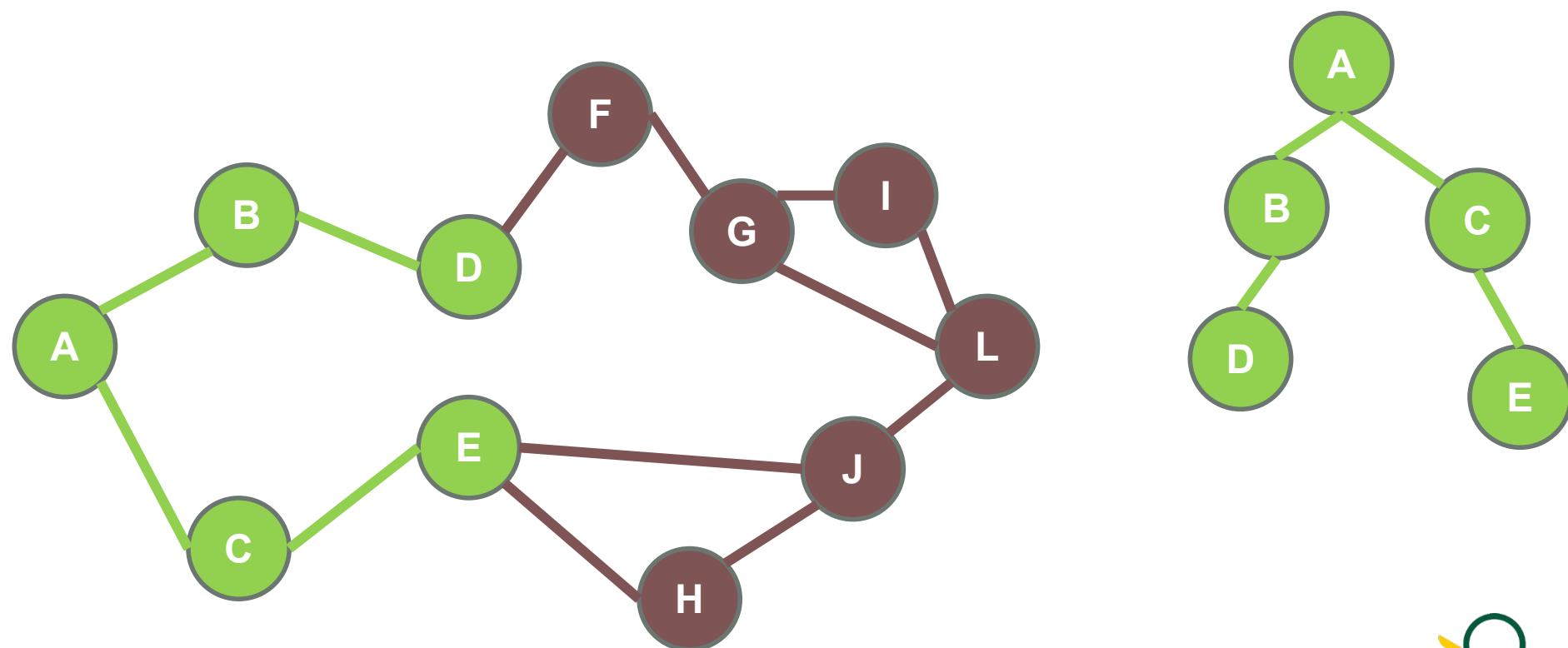
Percurso em Redes Sociais

Do nó **A**, a informação consegue atingir os nós **B** e **C**.

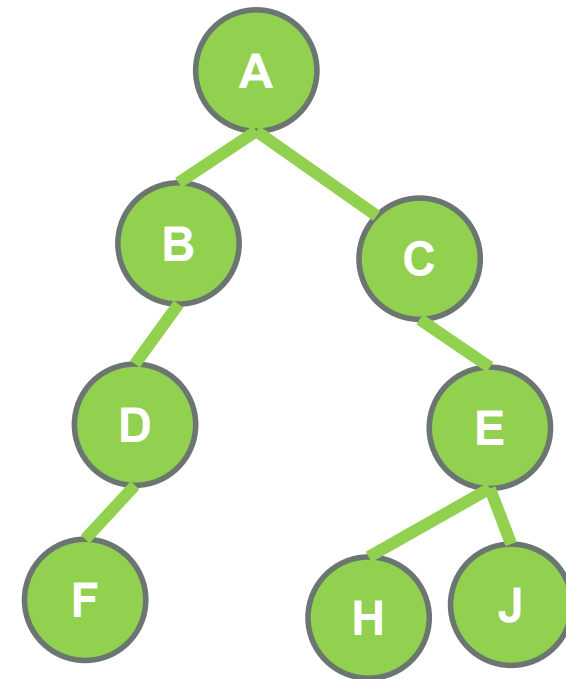
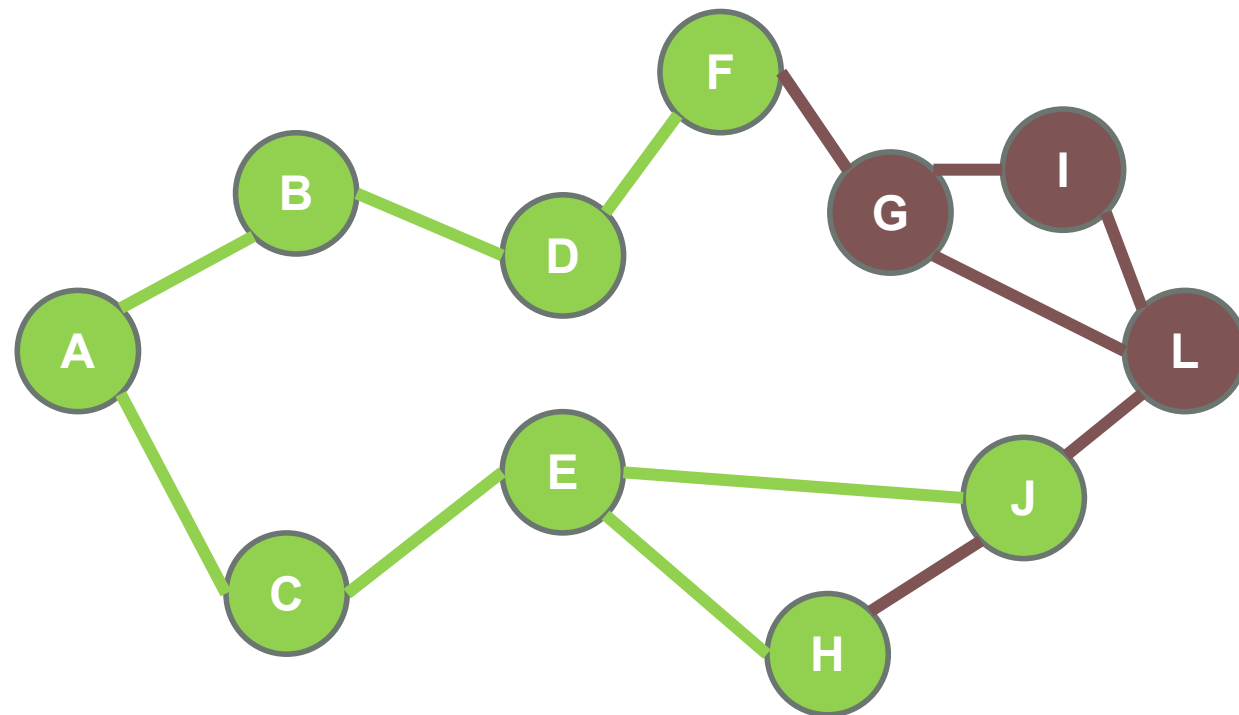


Percurso em Redes Sociais

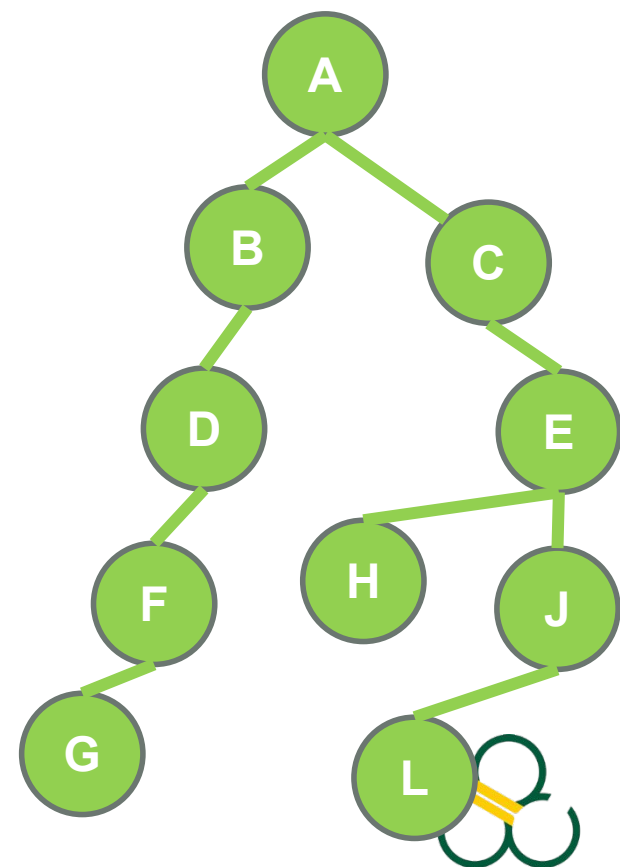
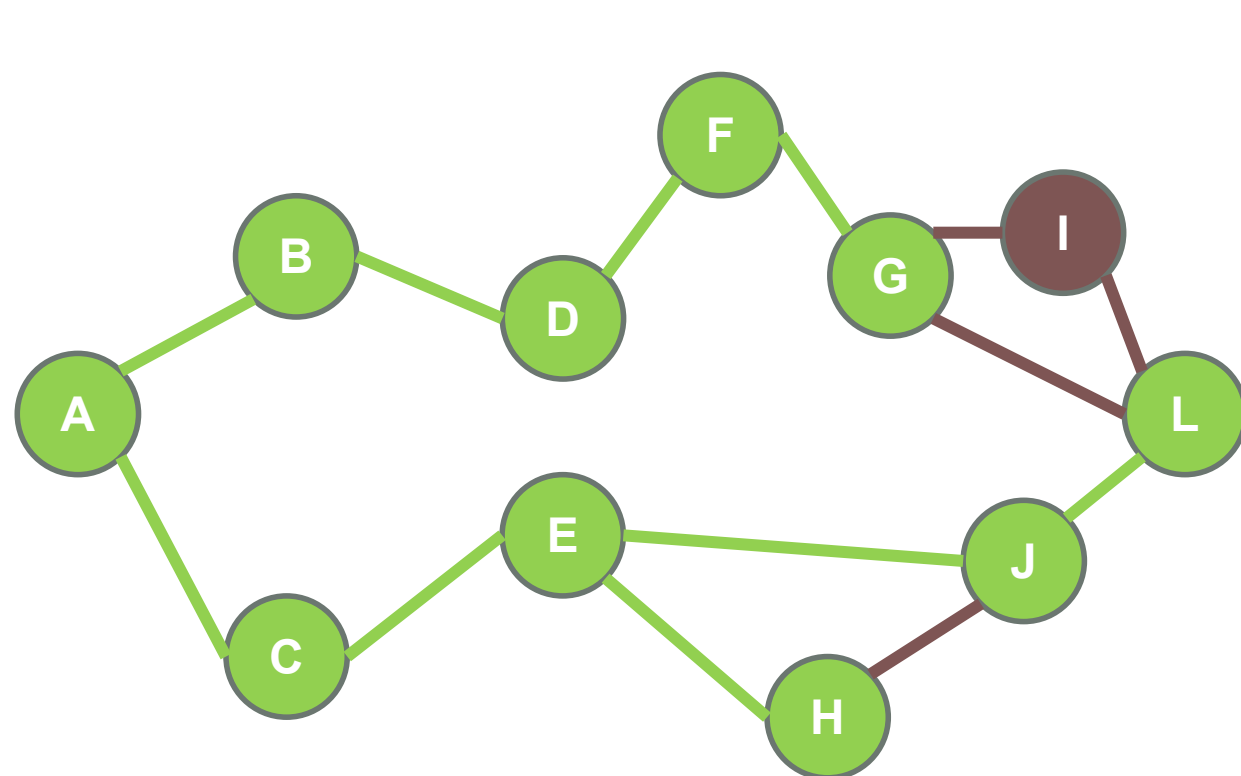
Cada nó, por sua vez, espalha a informação para os nós vizinhos.



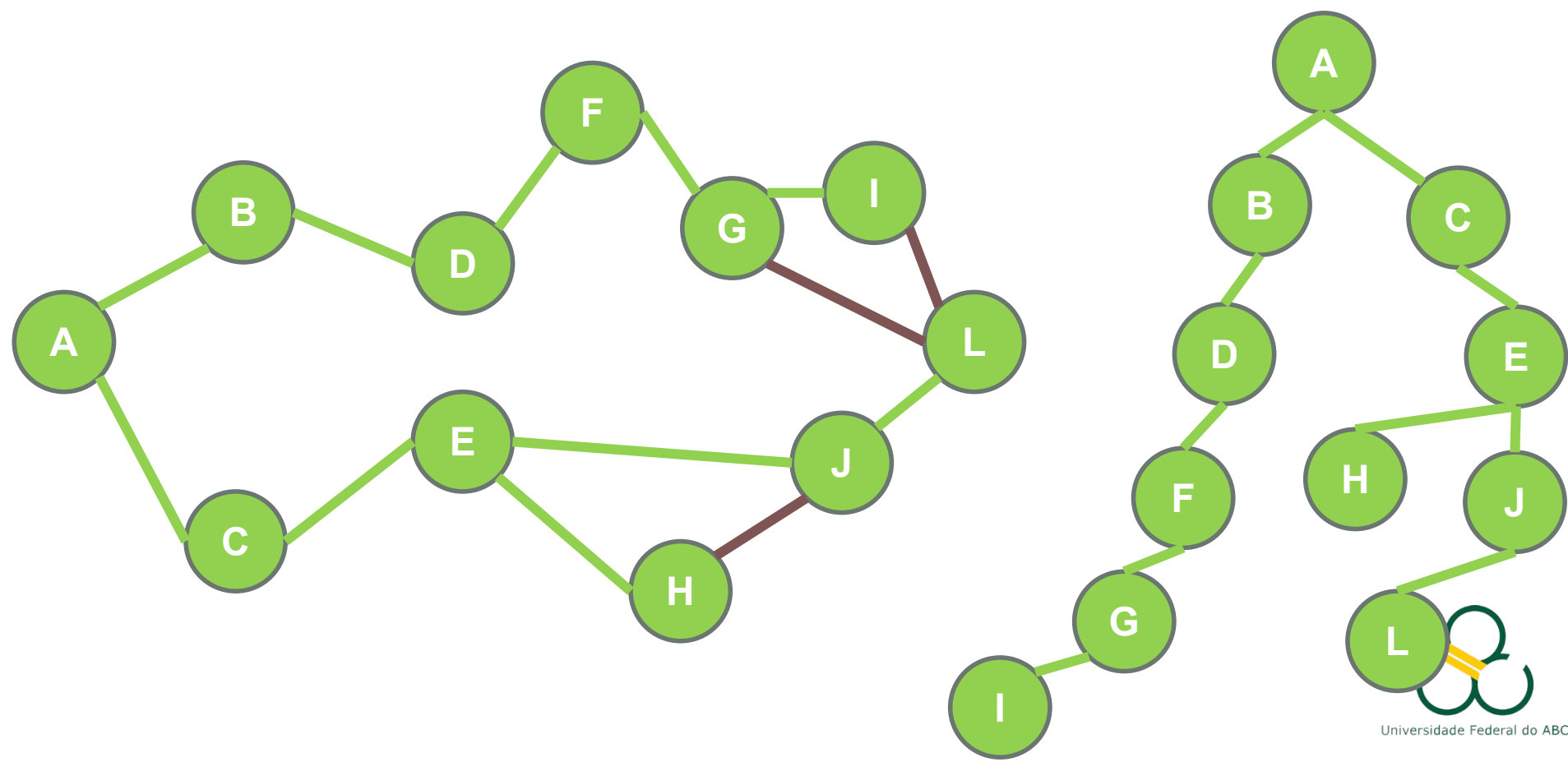
Percurso em Redes Sociais



Percurso em Redes Sociais

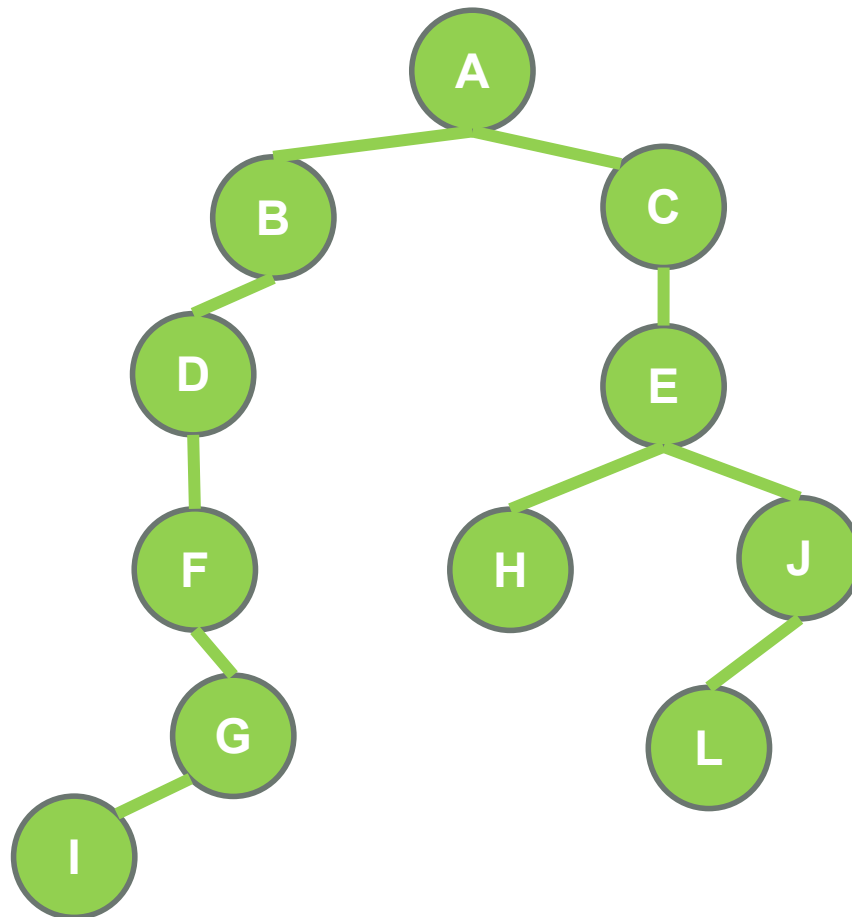


Percurso em Redes Sociais



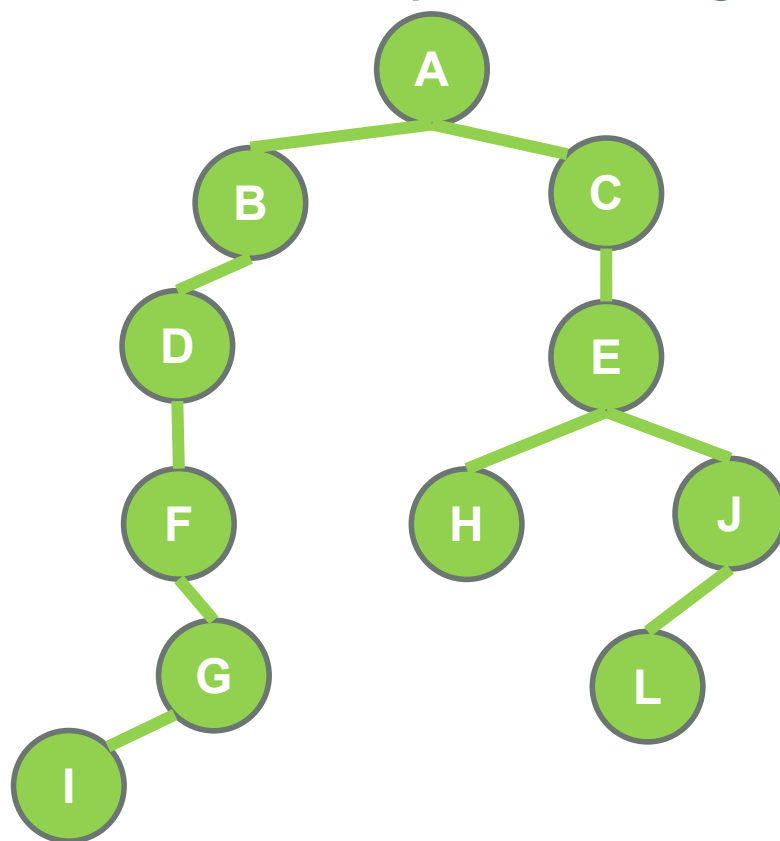
Percurso em Redes Sociais

Esse procedimento é conhecido como busca em largura.



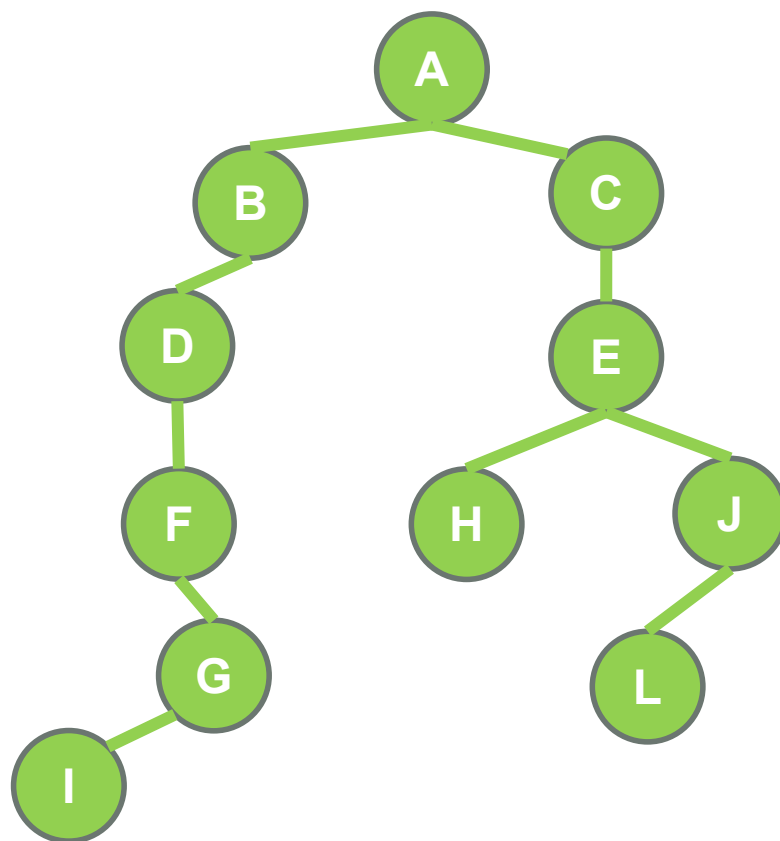
Percurso em Redes Sociais

Com ele conseguimos determinar, partindo de um determinado nó, qual o menor número de passos (*hops*) é necessário para atingir qualquer outro nó da rede.



Percurso em Redes Sociais

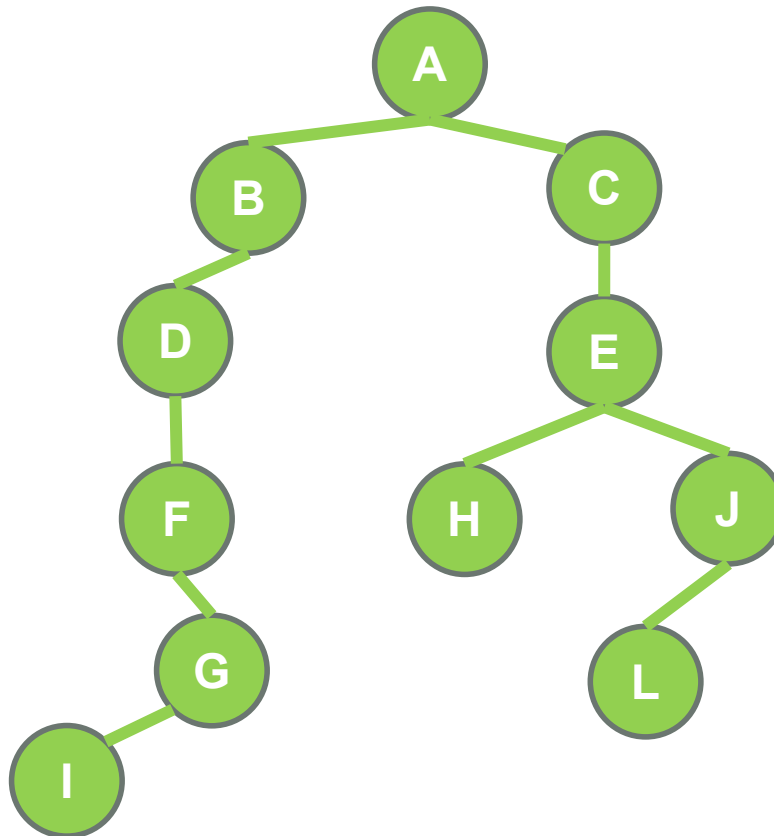
Esse procedimento mostra também a dinâmica da informação. É possível ver como a informação tende a caminhar.



Percurso em Redes Sociais

As distâncias do nó A até os outros nós são:

$$d(A,x) = [1,1,2,2,3,3,3,4,4,5]$$



Percurso em Redes Sociais

Repetindo esse procedimento para todos os outros nós teremos:

$$d(A,x) = [1,1,2,2,3,3,3,4,4,5]$$

$$d(B,x) = [1,1,2,2,3,3,4,4,4,4]$$

$$d(C,x) = [1,1,2,2,2,3,3,4,4,4]$$

e assim por diante...



Percurso em Redes Sociais

A distância média será a média desses valores agregados, enquanto o diâmetro será o valor máximo deles.

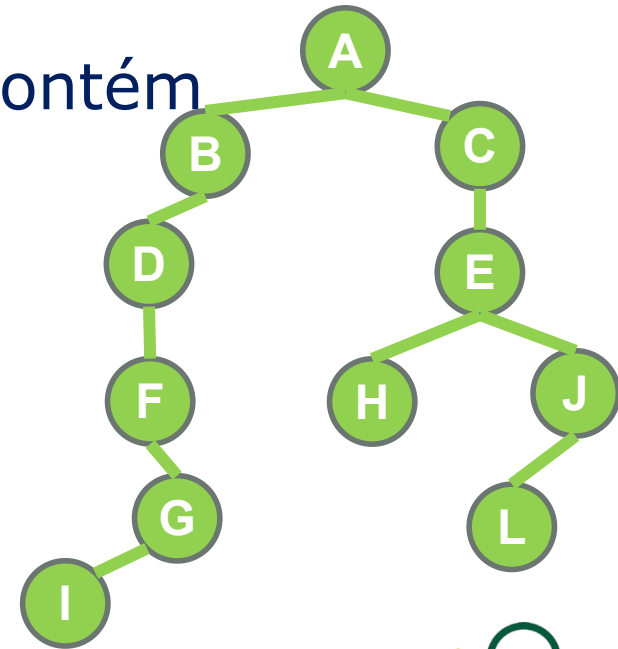
Para essa rede a distância média dessa rede é **2,6**, enquanto o diâmetro é **5**.



ÁRVORE

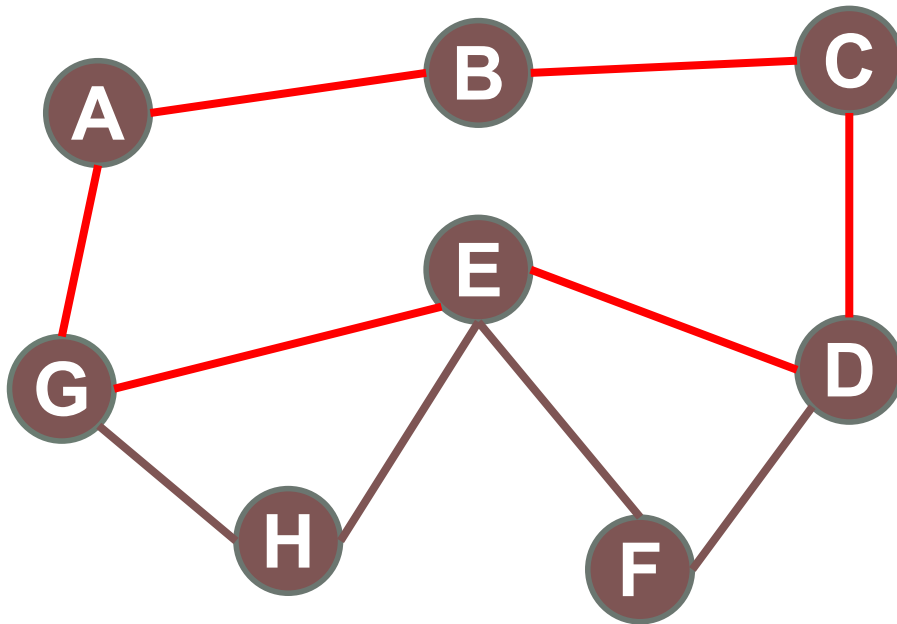
Essa estrutura resultante do procedimento, que mostra o caminho da informação pelos nós, é conhecida como **ÁRVORE**.

Um **ÁRVORE** é uma rede que não contém **CICLOS!**



CICLOS

Um **CICLO** é um caminho em uma rede em que o nó final é o mesmo da origem.

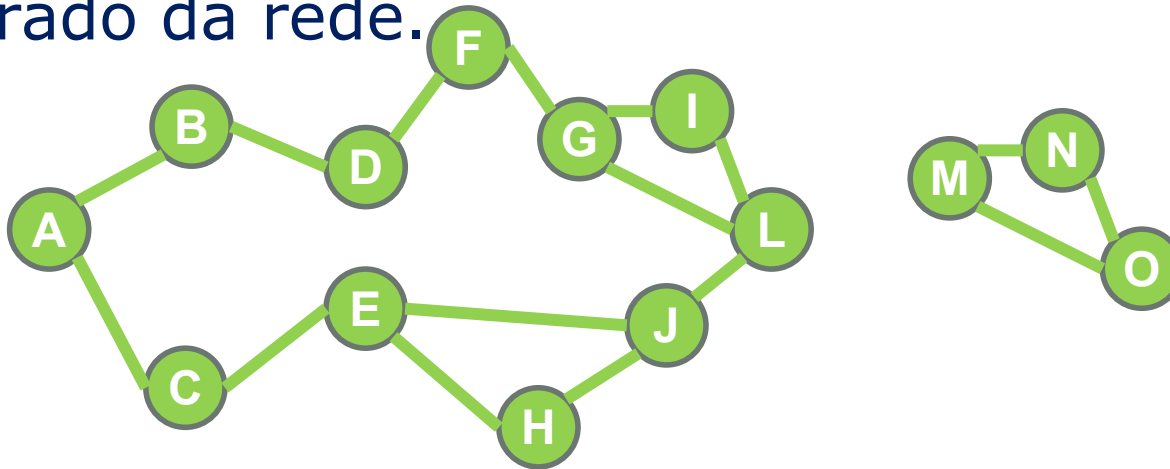


O caminho
A,B,C,D,E,G,A
forma um ciclo.



CONNECTIVIDADE

Um outro fato interessante em redes reais é que, embora tudo pareça estar conectado, pode existir alguns nós das redes que formam um grupo separado da rede.

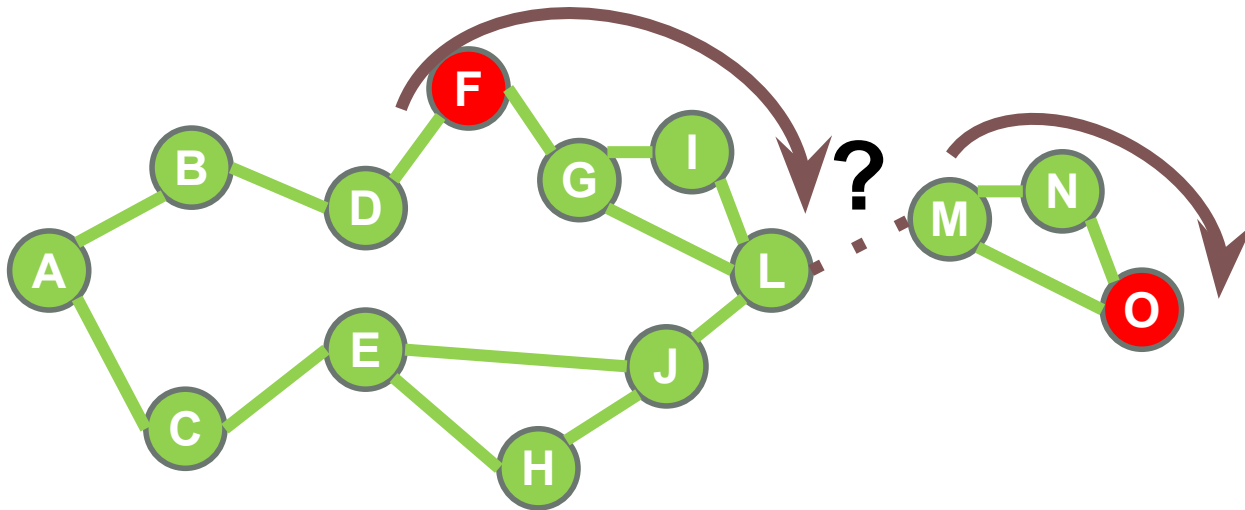


Em uma rede social, imagine que existam moradores de uma ilha deserta que não tem contato algum com o resto do mundo.



CONNECTIVIDADE

Eles formariam uma rede sem qualquer ligação com a rede principal.

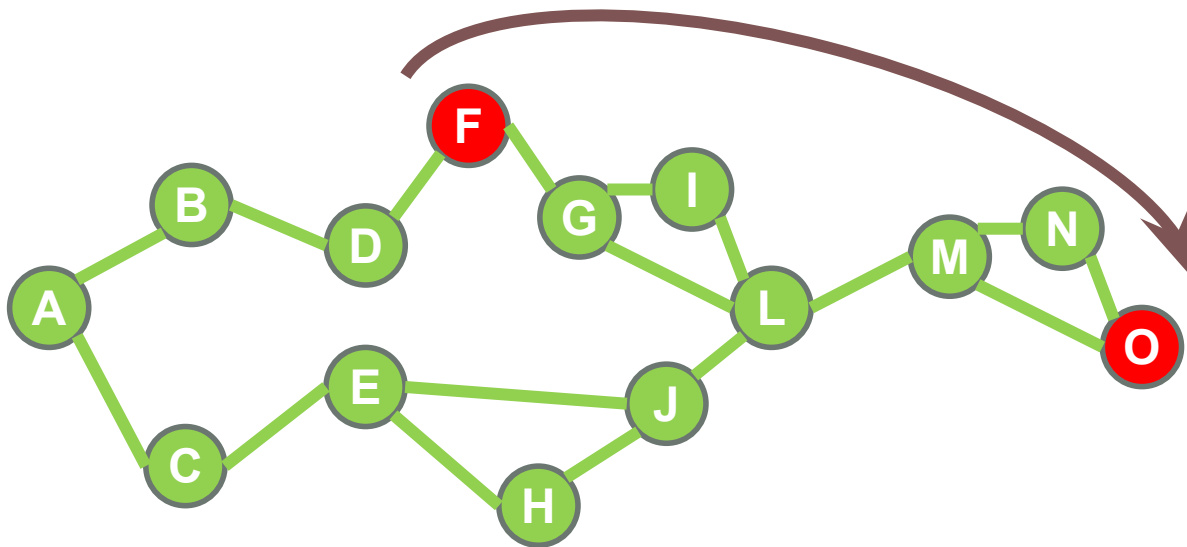


Quando em uma rede existem dois nós tal que não exista um caminho entre eles, ela é denominada **DESCONECTADA** ou **DESCONEXA**.



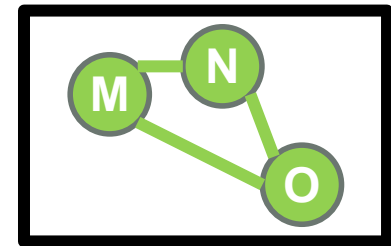
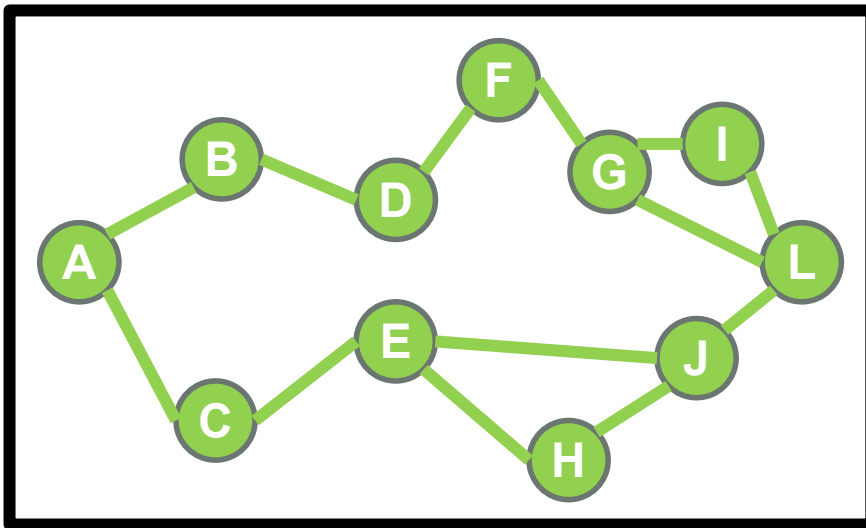
CONNECTIVIDADE

Em contrapartida, uma rede em que existe pelo menos um caminho entre todos os nós é chamada de **CONNECTADA** ou **CONEXA**.



CONNECTIVIDADE

A rede formada por um subconjunto de nós e arestas da rede original forma uma **SUBREDE**.

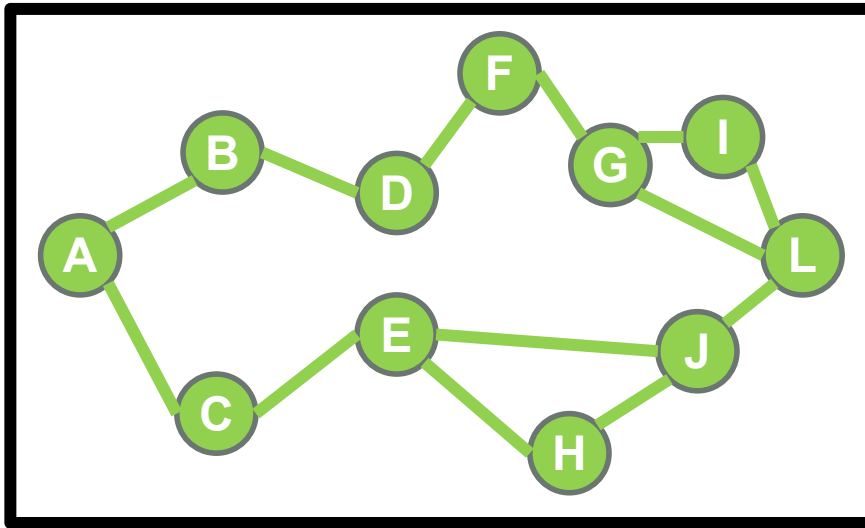


A **SUBREDE** contendo o maior número de nós e arestas que formam uma **REDE CONECTADA** é um **COMPONENTE CONEXO**.



CONNECTIVIDADE

Quando a rede contém um **COMPONENTE CONEXO** que envolve grande parte dos nós, chamamos de **COMPONENTE GIGANTE**.

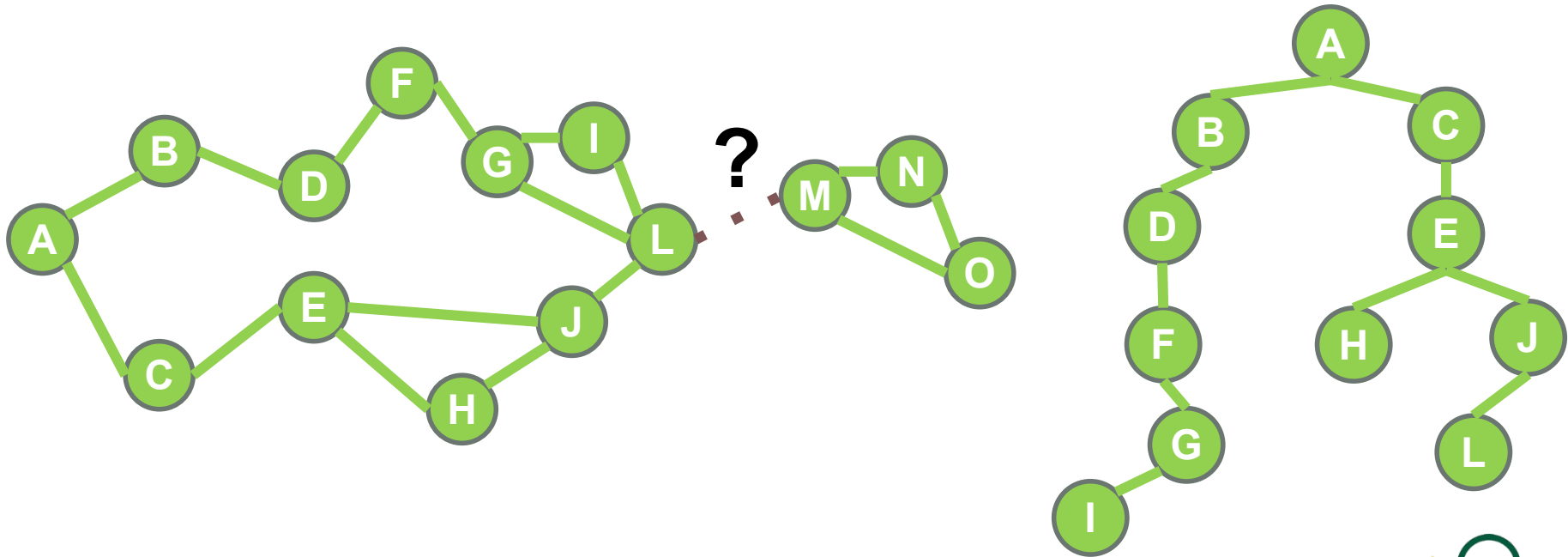


A maioria das redes reais contém **COMPONENTES GIGANTES** por diversos motivos.



CONNECTIVIDADE

Se utilizarmos a **BUSCA EM LARGURA**, podemos verificar se a rede é **CONNECTADA** e se existe um **COMPONENTE GIGANTE**.





Universidade Federal do ABC

DISTÂNCIA EM REDES PONDERADAS

Rota de Entrega

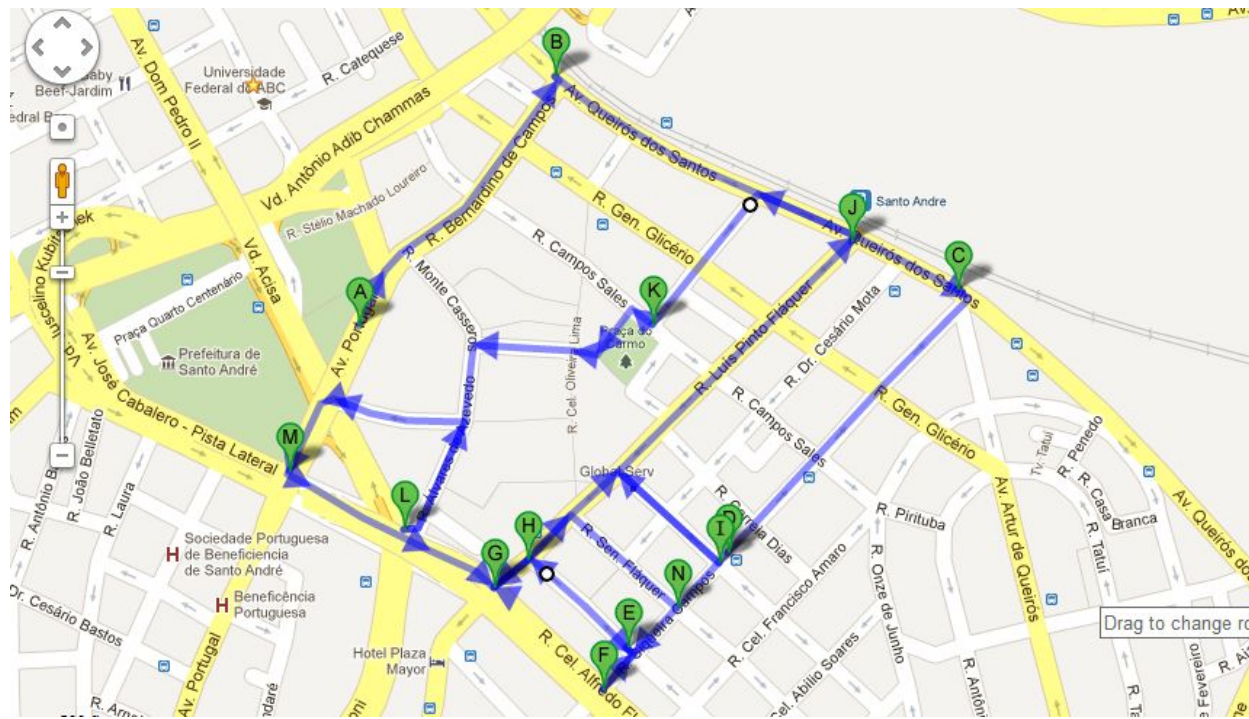
Uma rede urbana de ruas é planejada de acordo com o crescimento populacional e comercial. Empresas de logística necessitam determinar a melhor rota de entrega dado uma lista de clientes.

Nesse caso a rede já tem sua estrutura determinada por outros fatores e é necessário encontrar caminhos ótimos para propagar a informação (entrega de produtos).



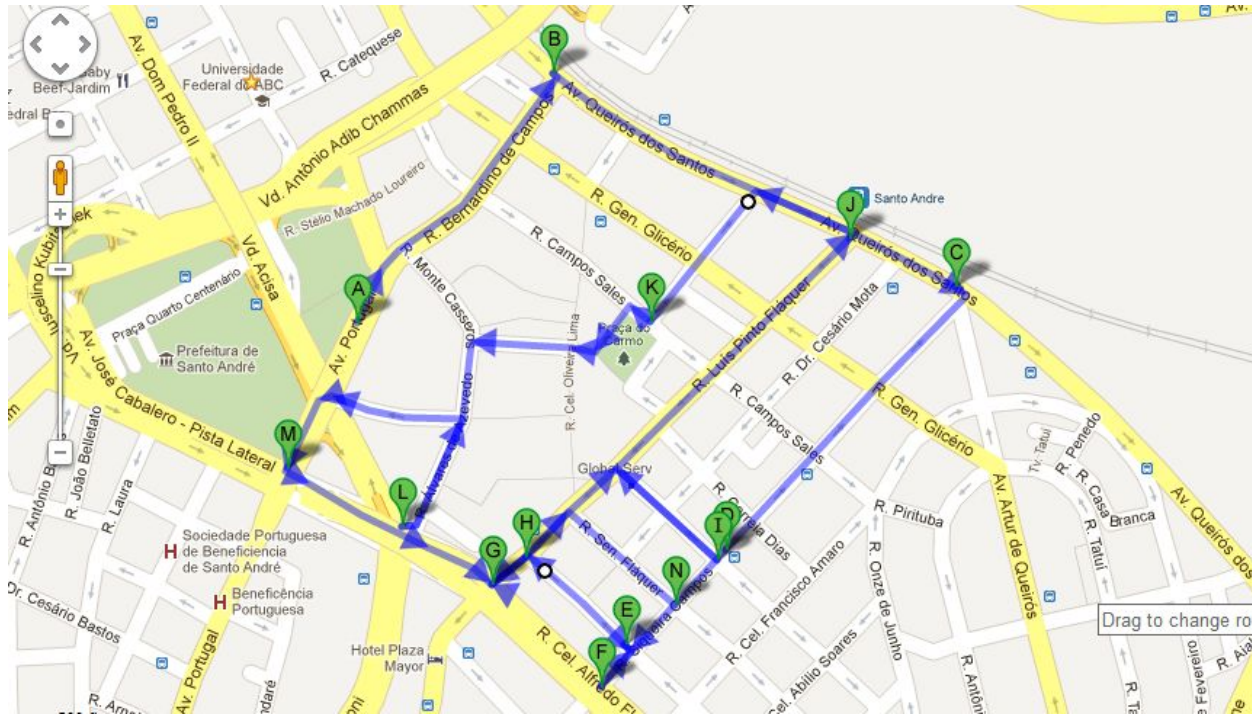
Rota de Entrega

Os nós da rede de entrega são os pontos que devem receber os produtos e as arestas são as ruas que interligam eles.



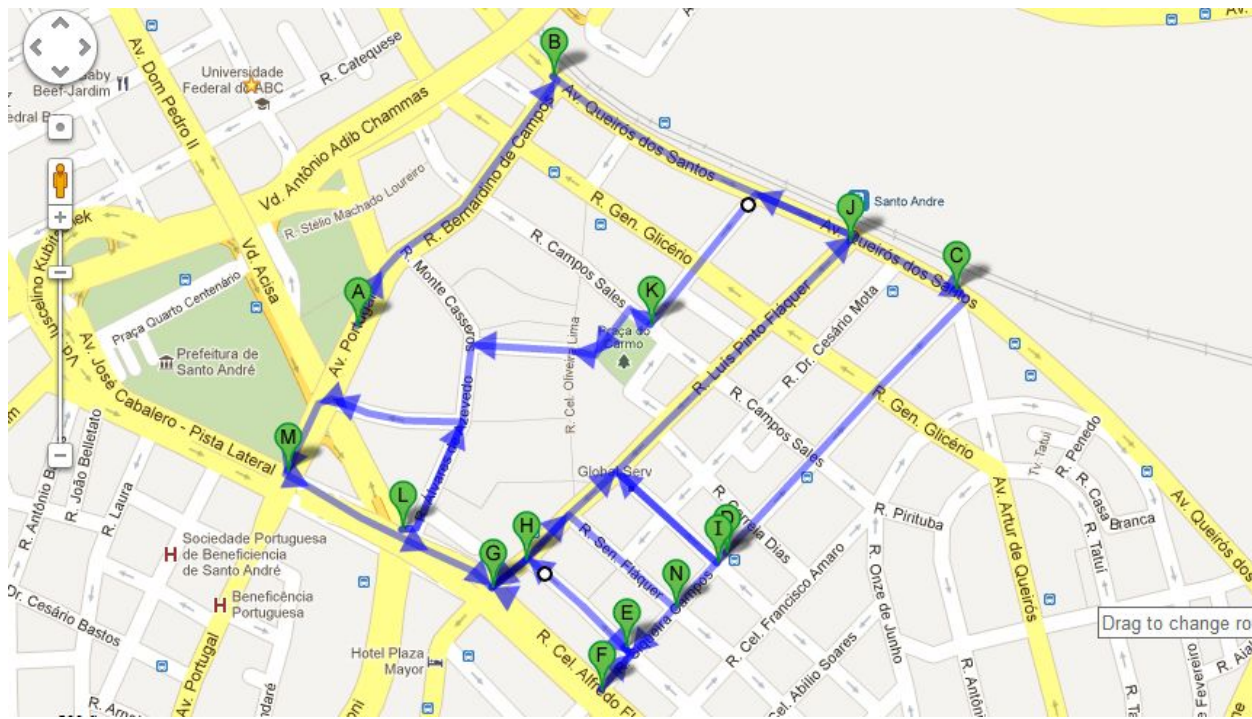
Rota de Entrega

Essa rede tem um diferencial em relação ao exemplo anterior pois as arestas não representam sempre o mesmo valor de unidade de distância.



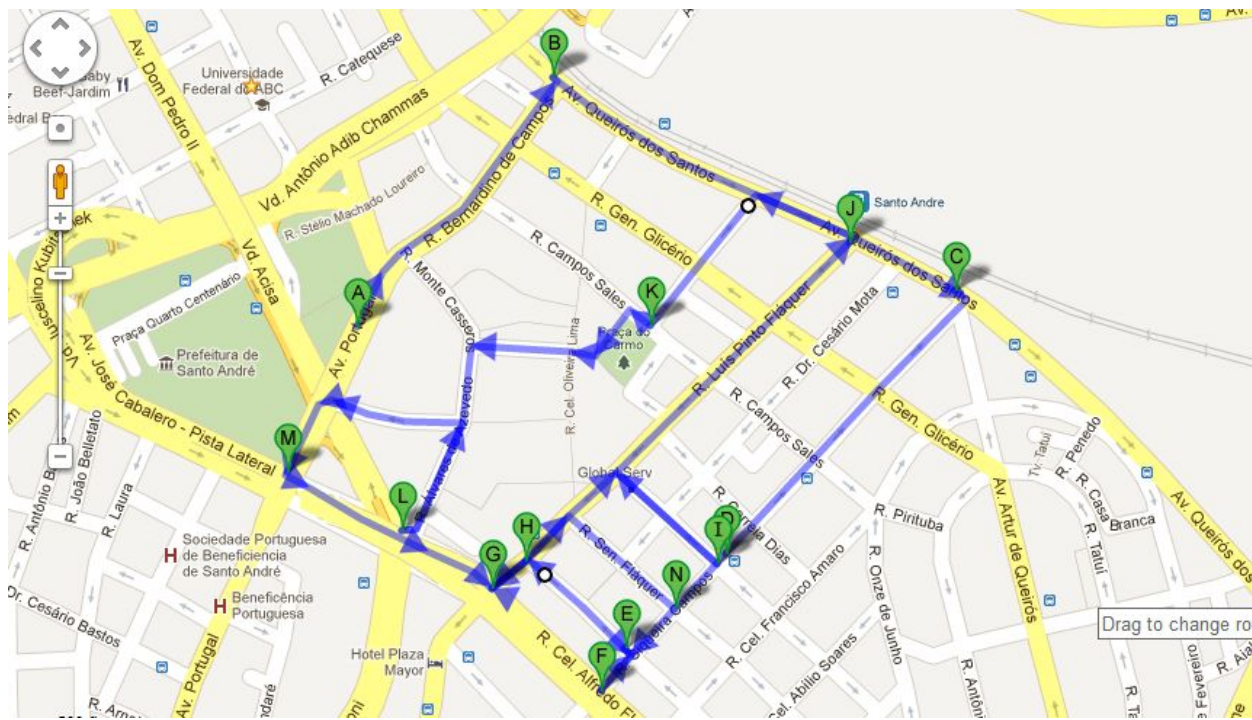
Rota de Entrega

Por exemplo, a aresta interligando os pontos A e B tem uma distância muito maior que a aresta que interliga J e C.



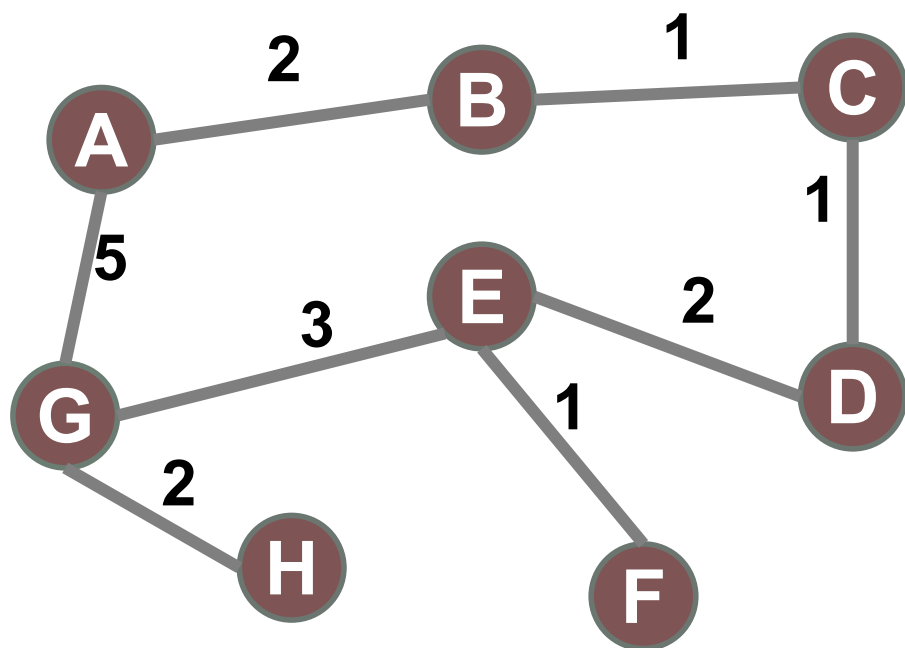
Rota de Entrega

Essa rede é, portanto, **PONDERADA**. Ou seja, cada aresta tem um valor associando o custo em percorrer tal trecho entre dois nós.



Rota de Entrega

Reparem que em um grafo ponderado o melhor caminho não necessariamente é o que percorre menos arestas. Vamos verificar o melhor caminho entre os nós **A** e **F**.



Caminho com menos arestas:
A, G, E, F

$$\text{Custo} = 5 + 3 + 1 = 9$$

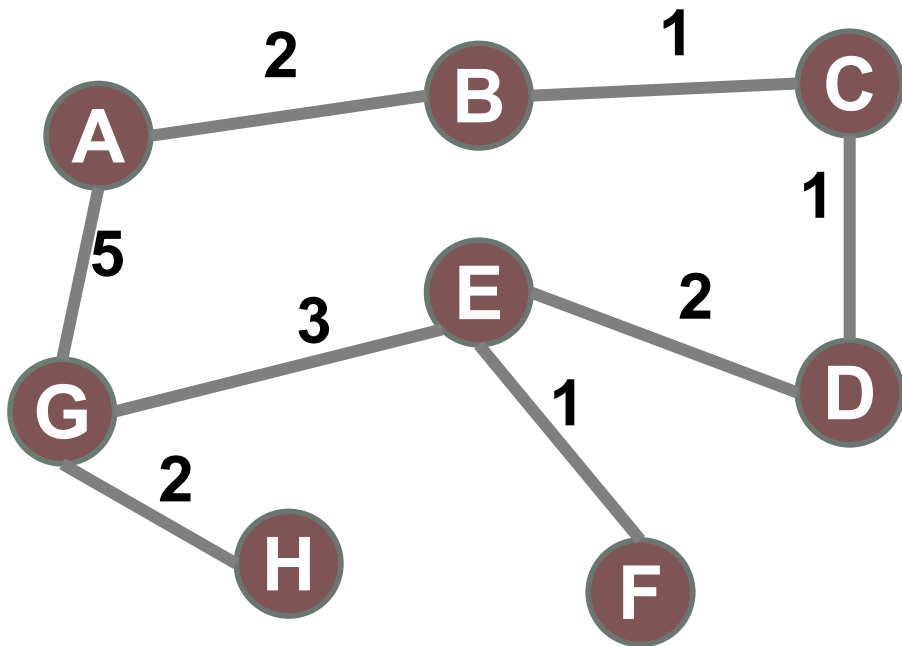
Caminho com menor custo:
A, B, C, D, E, F

$$\text{Custo} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 = 7$$



Rota de Entrega

Nesse caso, o melhor caminho entre dois pontos não pode ser obtido através da busca em largura.



Caminho com menos arestas:
A, G, E, F

$$\text{Custo} = 5 + 3 + 1 = 9$$

Caminho com menor custo:
A, B, C, D, E, F

$$\text{Custo} = 2 + 1 + 1 + 2 + 1 = 7$$



Dijkstra

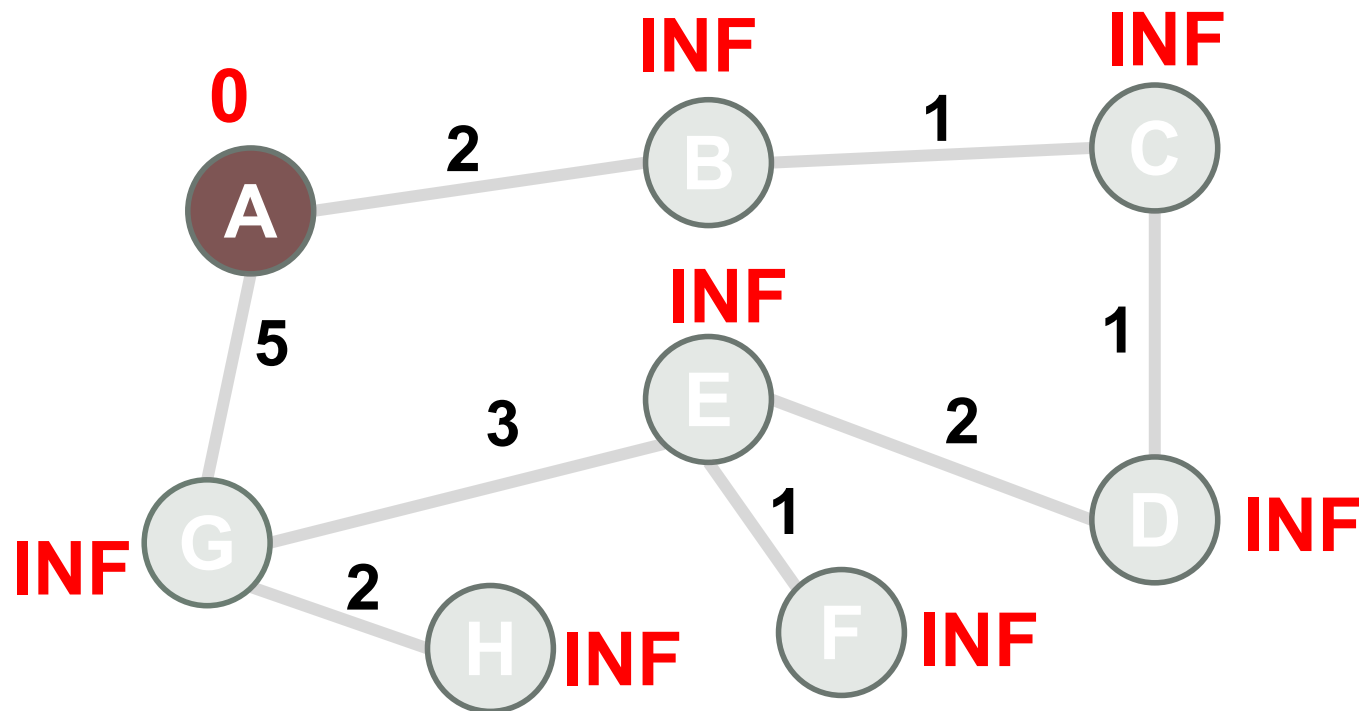
Um algoritmo para encontrar o caminho mínimo em um grafo foi criado por Edsger Dijkstra em 1956.

Esse algoritmo se assemelha à **BUSCA EM LARGURA**, porém toma as decisões sobre quais nós percorrer em seguida utilizando um procedimento **GULOSO**.



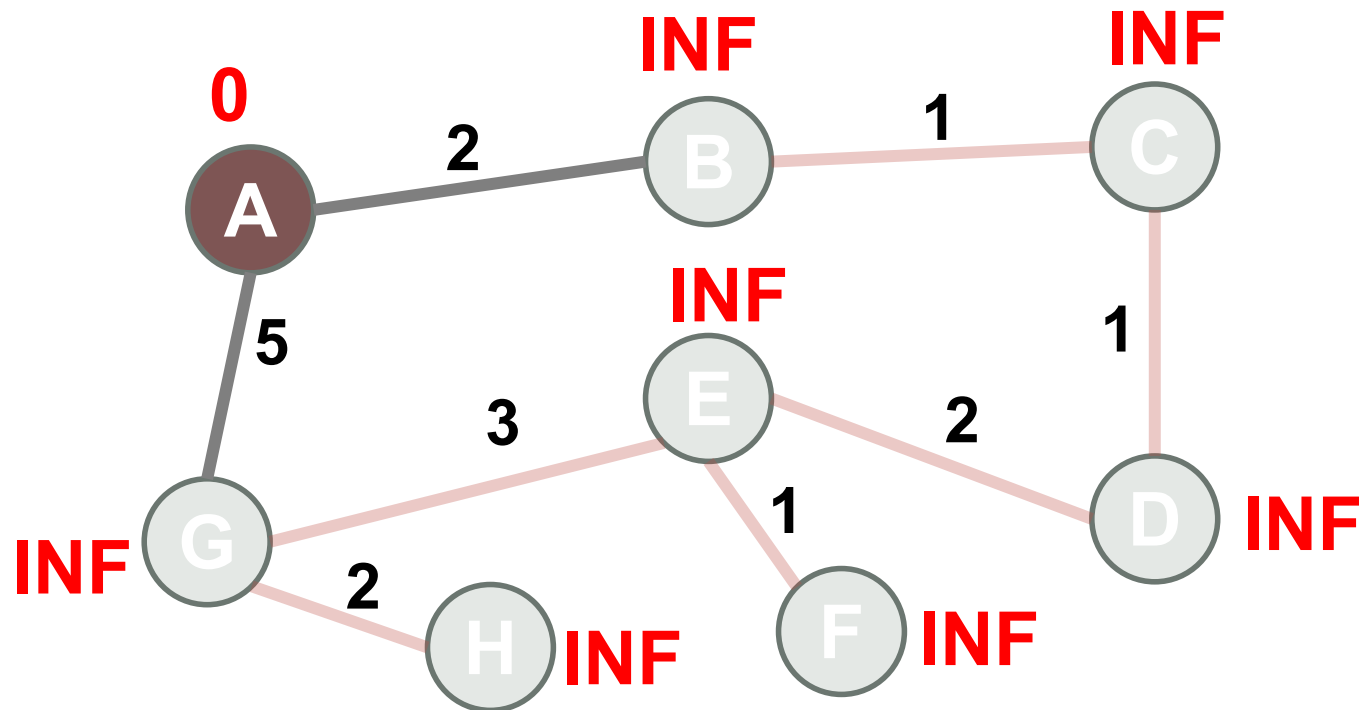
Dijkstra

Para encontrarmos todos os menores caminhos partindo do nó **A**, iniciamos indicando que a distância de **A** até ele mesmo é **0**, e para todos os outros nós é **INFINITO** (INF).



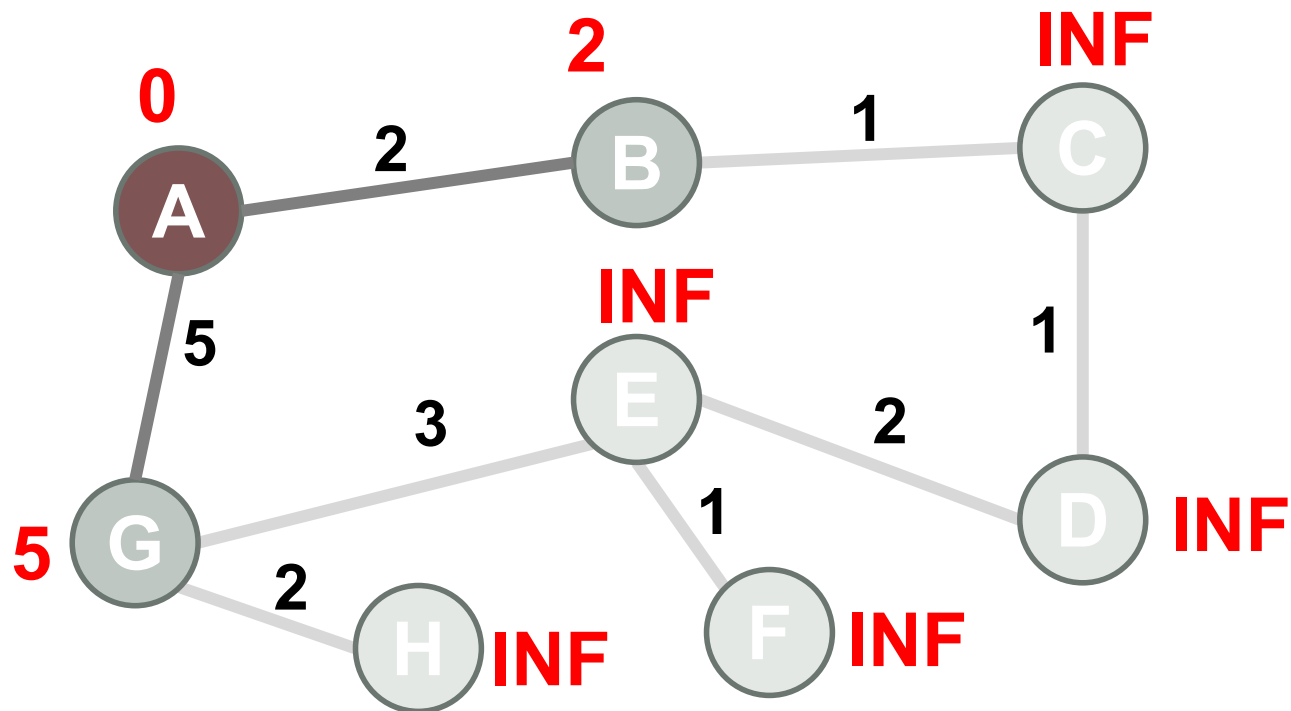
Dijkstra

Na busca em largura o nó **A** enviaria a informação paralelamente para os nós **B** e **G**.



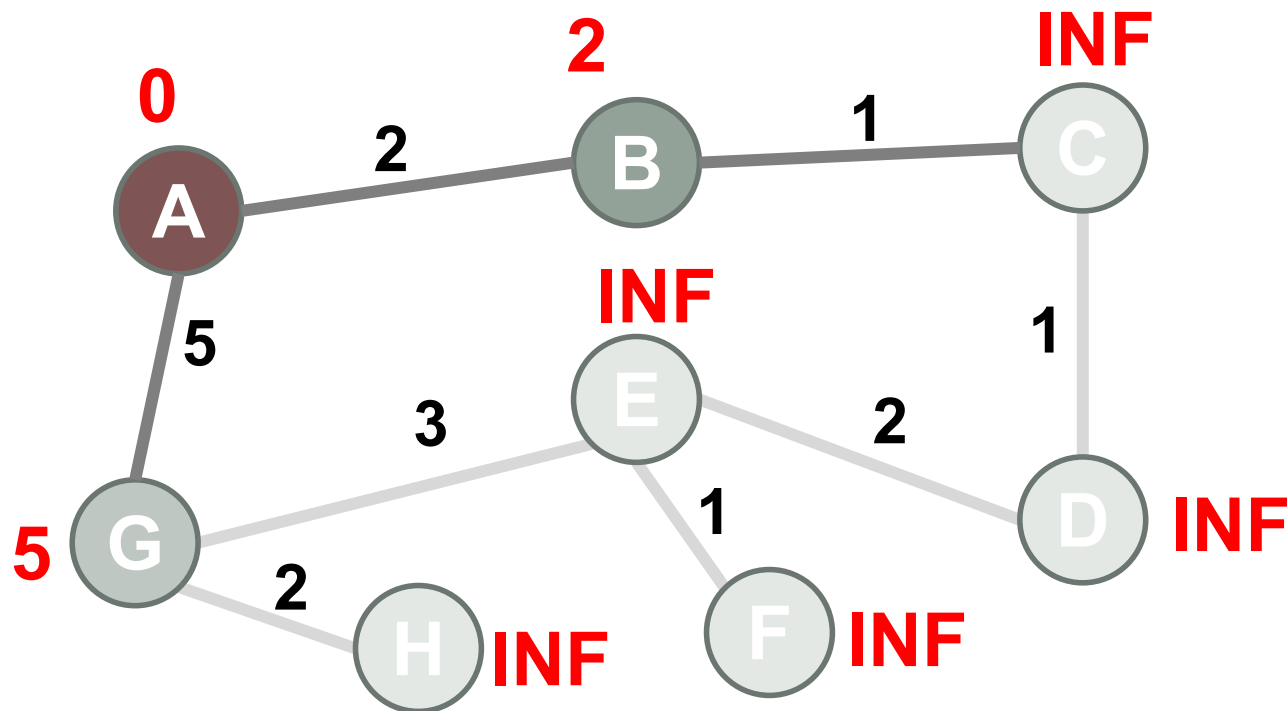
Dijkstra

Expandimos tais nós e atualizamos a distância até eles somando o valor do nó A às arestas correspondentes.



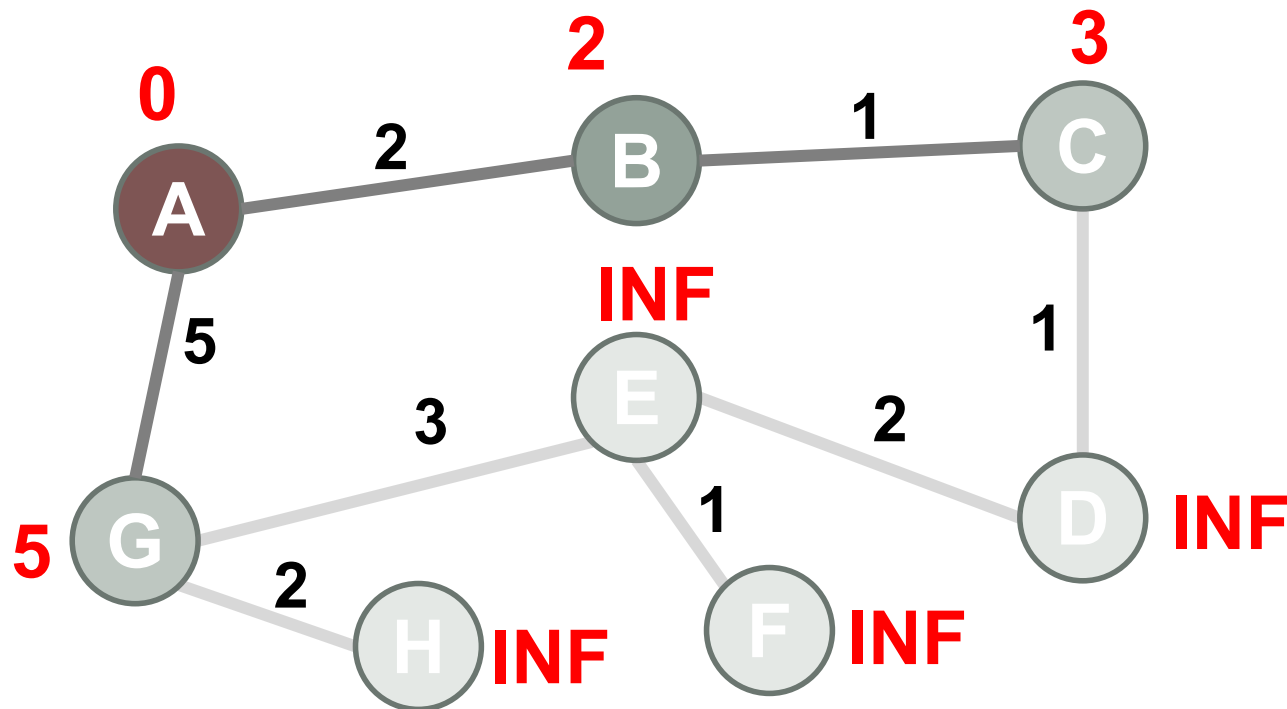
Dijkstra

Ao invés de expandir paralelamente os nós **B** e **G**, vamos escolher o nó com menor distância para expandir. No nosso caso esse é o nó **B**.



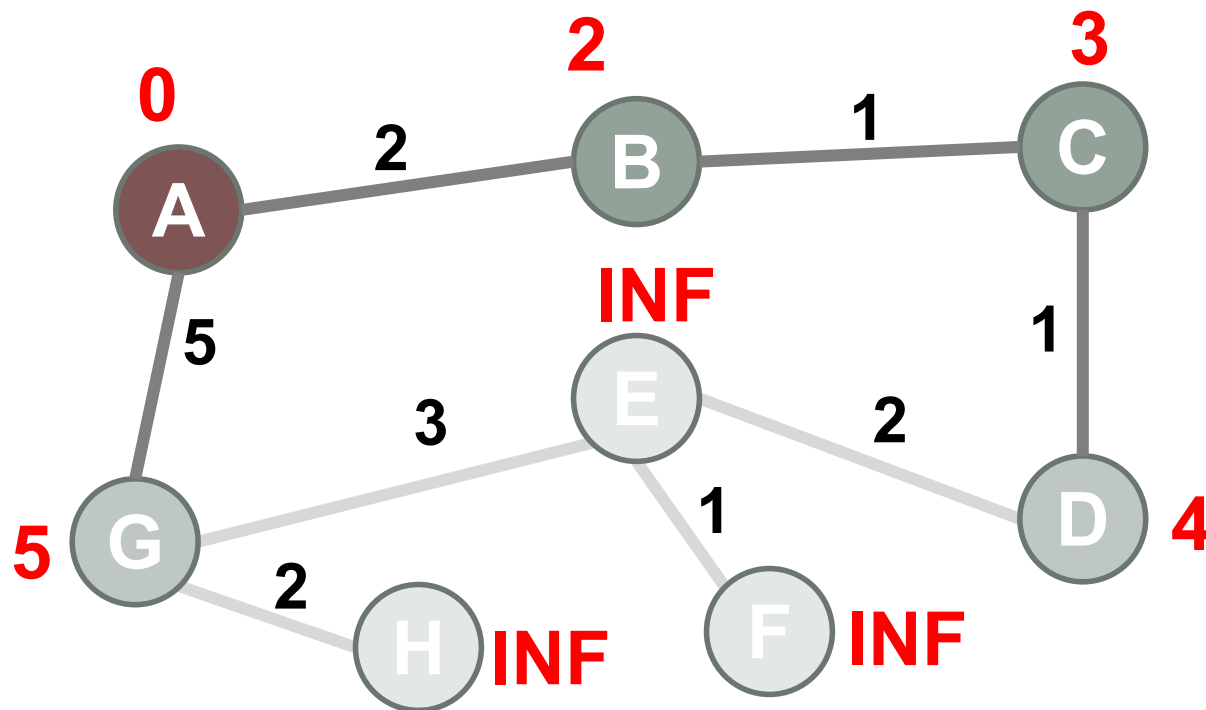
Dijkstra

Do nó **B** podemos expandir apenas o nó **C**, com distância igual à $2 + 1 = 3$.



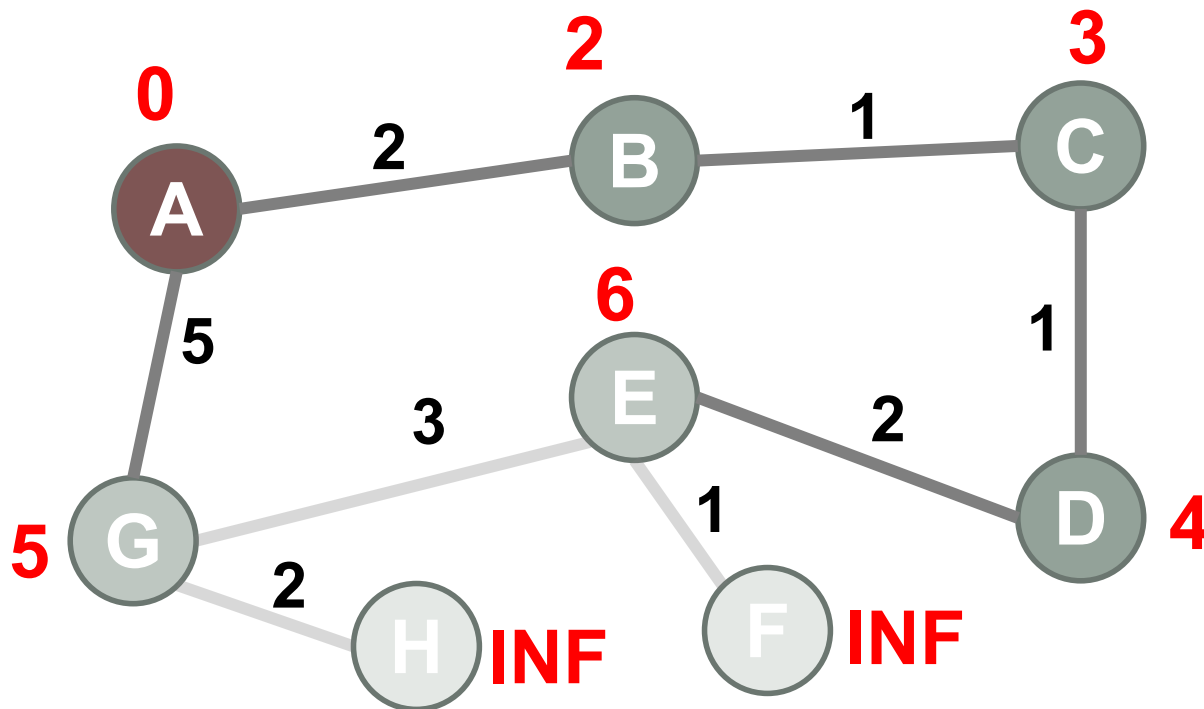
Dijkstra

Na sequência expandimos o nó C, que tem apenas o nó D com valor igual à $3+1 = 4$



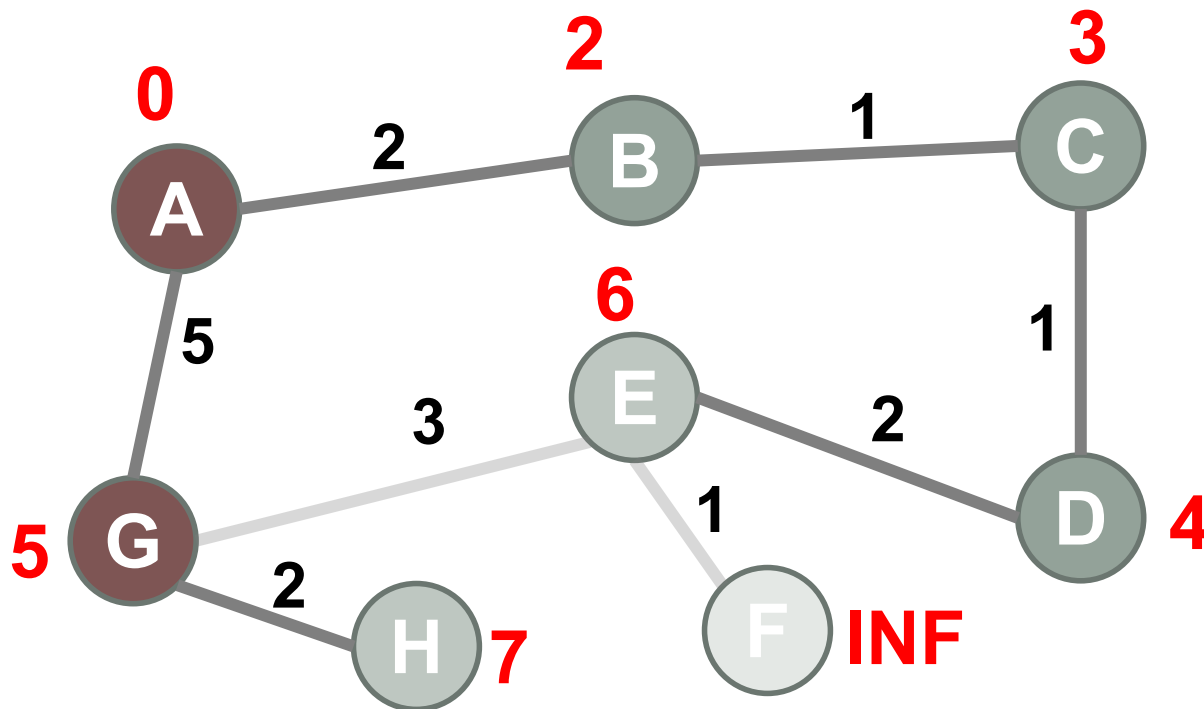
Dijkstra

Do nó **D** expandimos o nó **E** com o valor $4+2 = 6$.



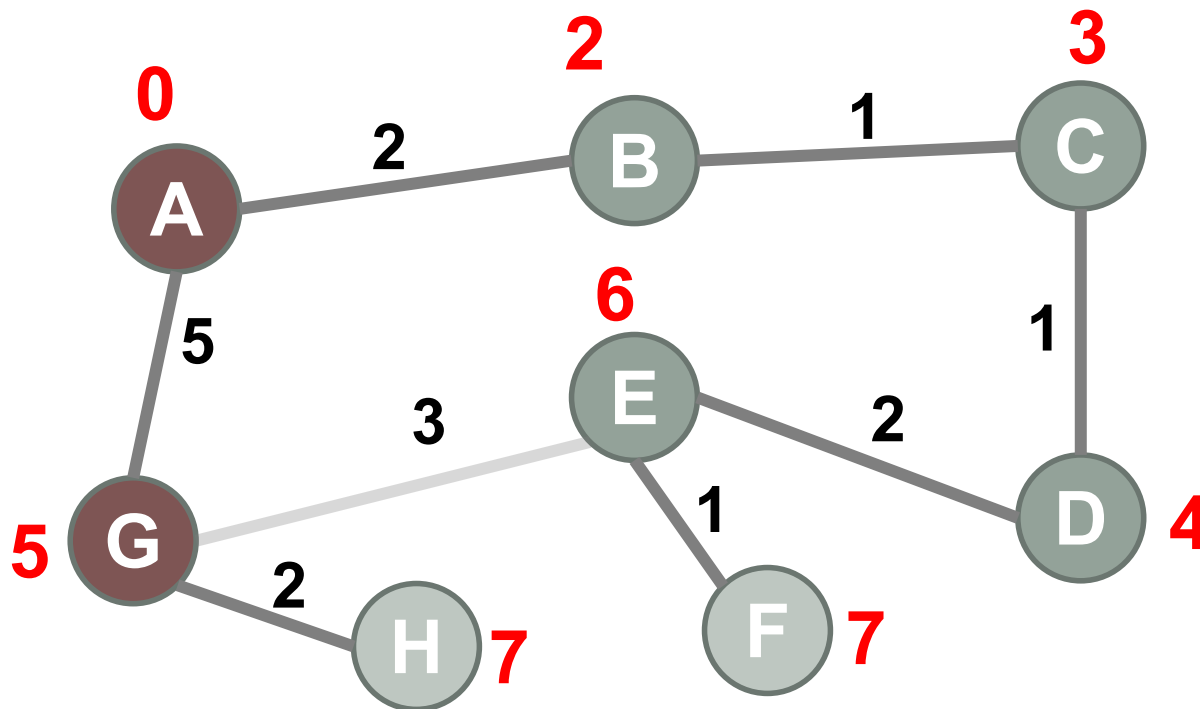
Dijkstra

Como o nó **G** agora tem um valor menor, expandimos à partir dele, o nó **H** (o E já foi utilizado). O valor ficará $5+2=7$



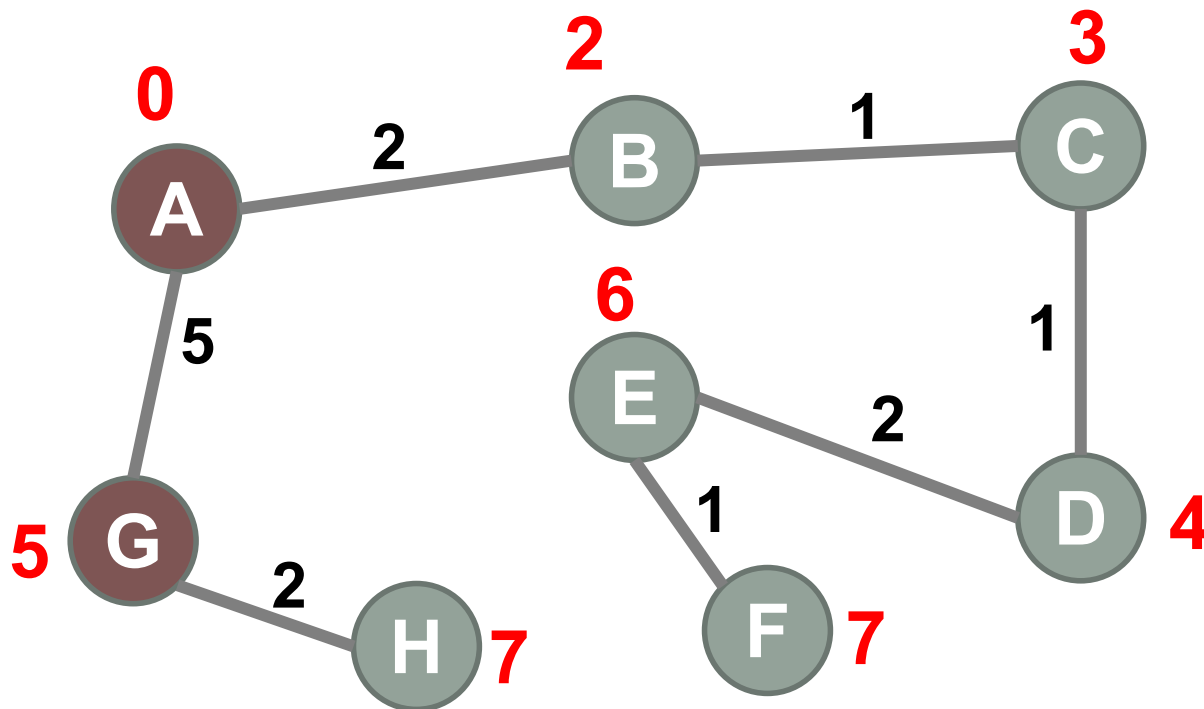
Dijkstra

Finalmente expandimos o nó **E**, que leva ao nó **F** com valor $6+1 = 7$.



Dijkstra

Não tendo mais nenhum nó para expandirmos a busca é encerrada, formando a seguinte árvore.



Dijkstra

Para calcular a distância média e o diâmetro, repetimos esse procedimento para cada nó, agregamos a informação e calculamos os valores.

A distância média para essa rede é **4,36** e o diâmetro é igual a **9**.





Universidade Federal do ABC

DISTÂNCIA EM REDES REAIS

Redes Sociais

Em 2012 o Facebook contava com uma rede da ordem de 721 milhões de usuários (nós) e 69 bilhões de amizades (arestas).

Nessa época a distância média entre os nós era de 4,74 enquanto o diâmetro era de 41 passos.

Backstrom, Lars, et al. "Four degrees of separation." *Proceedings of the 3rd Annual ACM Web Science Conference*. ACM, 2012.



Redes Sociais

Em 2012 o Facebook contava com uma rede da ordem de 721 milhões de usuários (nós) e 69 bilhões de amizades (arestas).

Nessa época a distância média entre os nós era de 4,74 enquanto o diâmetro era de 41 passos.

92% dos pares de nós tem uma distância menor que 5!

Backstrom, Lars, et al. "Four degrees of separation." *Proceedings of the 3rd Annual ACM Web Science Conference*. ACM, 2012.



Redes Tecnológicas

A rede de transmissão de energia da parte leste dos Estados Unidos conta com 49.597 nós de transmissão e 62.985 linhas interligando esses nós.

A distância média é de apenas 35,8 nós enquanto o diâmetro é de 96.

Hines, Paul, et al. "The topological and electrical structure of power grids." *System Sciences (HICSS), 2010 43rd Hawaii International Conference on*. IEEE, 2010.



Redes Biológicas

A rede de reações metabólicas da bactéria E. Coli conta com 906 metabolitos (nós) e 1,230 mapeamentos atômicos (arestas).

A distância média é de 8 nós enquanto o diâmetro fica em torno de 12.

Arita, Masanori. "The metabolic world of Escherichia coli is not small." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 101.6 (2004): 1543-1547.



Redes de Informação

A rede do co-autoria da área de Saúde no Brasil conta com 114.169 autores representando os nós e 659,332 relações de co-autorias (arestas).

A distância média entre dois autores é de 6,9 e o diâmetro dessa rede é 23.

Mena-Chalco, Jesús Pascual, et al. "Brazilian bibliometric coauthorship networks." *Journal of the Association for Information Science and Technology*(2014).





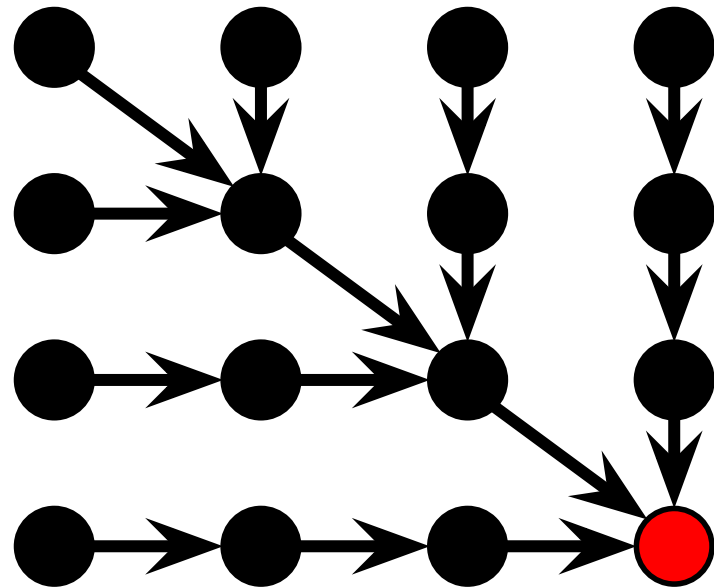
Universidade Federal do ABC

REDES MUNDO PEQUENO

Cadeias (Chains)

Após a segunda guerra mundial os governos e a sociedade voltavam a atenção em como reconstruir as cidades de forma otimizada levando em conta:

- ❑ Trânsito
- ❑ Vizinhaça
- ❑ Distribuição demográfica



Cadeias (Chains)

A importância desses estudos foram reforçados pelo autor húngaro Frigyes Karinthy em uma série de histórias curtas intituladas “Tudo é diferente” (*Everything is Different*).

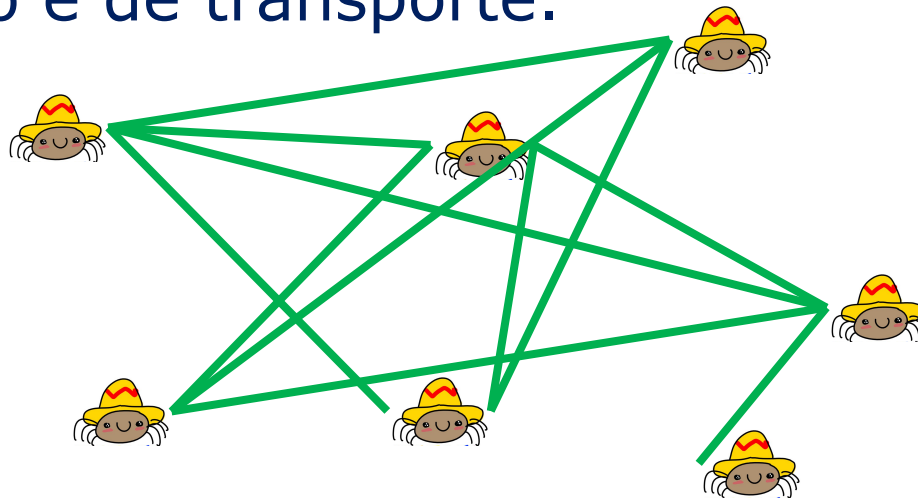


Uma dessas histórias tinha o nome de “Cadeias” (Chains) que explorava ideias que seriam futuramente alvo de interesse e estudo de diversos cientistas do campo de teoria das redes.



Cadeias (Chains)

Ele comentava que o mundo moderno estava **ENCOLHENDO** assim como a conectividade entre os seres humanos através dos meios de comunicação e de transporte.



Na história ele afirmava que quaisquer dois indivíduos estavam interligados através de, no máximo, 5 conhecidos.



Cadeias (Chains)

Um dos personagens desse conto propôs o seguinte jogo:

“Vamos selecionar qualquer pessoa entre o 1,5 bilhão de habitantes da Terra, qualquer um em qualquer lugar.

Aposto que usando não mais do que 5 pessoas, uma delas sendo um conhecido dele, eu conseguirei contactar a pessoa escolhida.”.



Experimentos de Mundo Pequeno

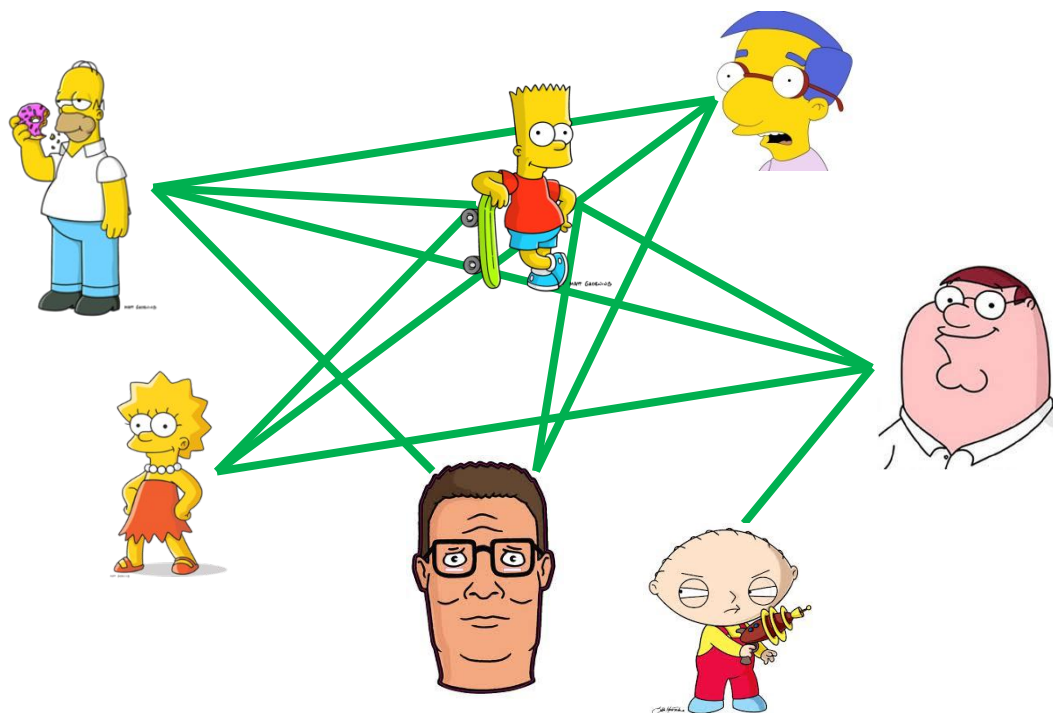
Pool & Kochen, em 1958 fizeram diversos estudos em redes sociais tentando responder as seguintes questões:

- ❑ Qual a probabilidade de que duas pessoas escolhidas aleatoriamente de uma população tenham um amigo em comum?
- ❑ Quão longe as pessoas estão uma das outras através em sua rede de contatos?



Experimentos de Mundo Pequeno

Em experimentos feitos utilizando simulação de Monte Carlo com dados sociais adquiridos por Michael Gurevich, eles chegaram em um grau de separação de 3 pessoas na população americana.



Experimento de Milgram

Mas em 1967, Stanley Milgram deu continuidade aos experimentos de Pool e Kochen e propôs o seguinte experimento:

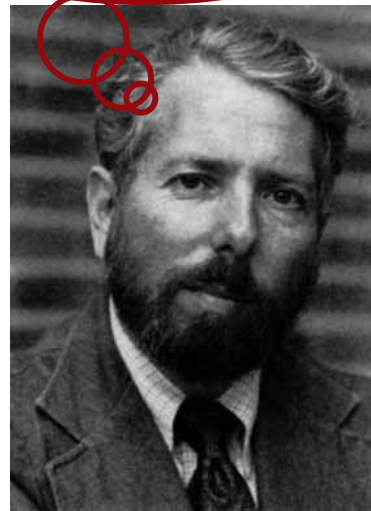
Enviar várias cartas partindo de Nebraska/Kansas com destino a uma pessoa em Boston, porém através de inte



Experimento de Milgram

Foram enviadas 160 cartas com o seguinte conteúdo:

Se você não conhece pessoalmente a pessoa destino, não tente contatá-la diretamente. Envie essa carta para um conhecido pessoal que **tem mais chances do que você** de conhecer a pessoa destino.



Milgram, *Psych Today* 2, 60 (1967)



Experimento de Milgram

Das **160** cartas preparadas, **42** retornaram.

O menor caminho foi de **UMA** conexão e o mais longo de **DEZ**.

O valor **MÉDIO** foi de **5,5** conexões, o que foi surpreendentemente baixo.

Arredondando os 5,5 temos a famosa frase **SEIS GRAUS DE SEPARAÇÃO**.

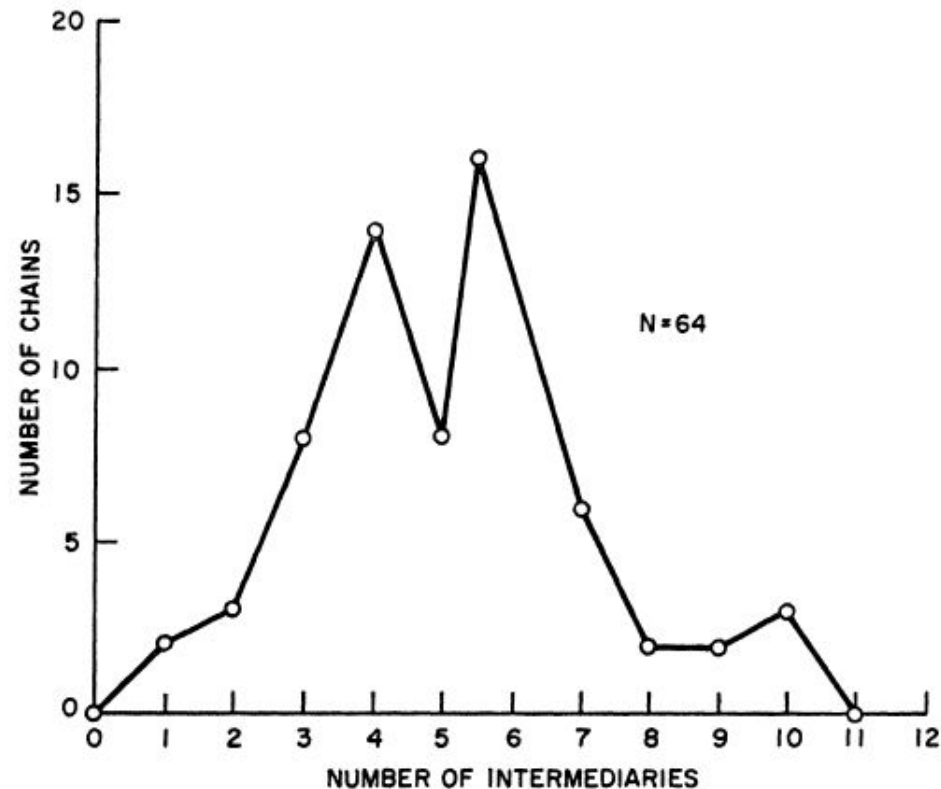


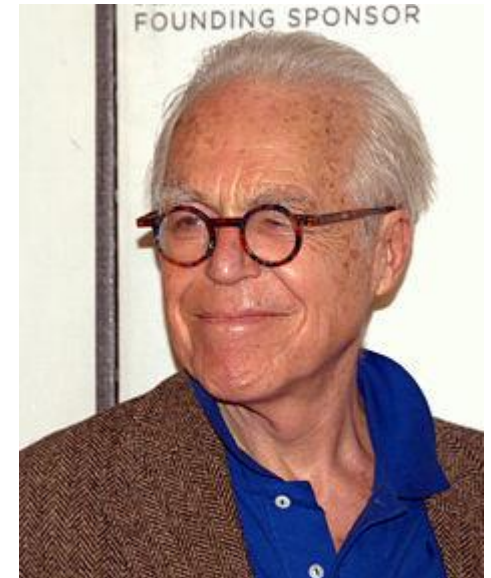
FIGURE 1

Lengths of Completed Chains



Experimento de Milgram

O termo **SEIS GRAUS DE SEPARAÇÃO** foi cunhada e popularizada pelo autor John Guare que escreveu uma peça teatral com este título para a Broadway em 1990, que se tornou filme em 1993.



A arte imita a vida que imita a arte que imita a vida?



Mundo Pequeno

O termo **MUNDO PEQUENO** diz respeito ao fato de que muitas redes reais, embora tenham um número grande de nós, existe um **CAMINHO DE TAMANHO PEQUENO** entre quaisquer dois nós.



Os Seis Graus de Erdős

Em 1995, Grossman & Ion coletaram dados de uma rede de co-autoria de artigos matemáticos tendo como foco central Paul Erdős.

Erdős foi co-autor de artigos com milhares de outros autores, porém tiveram alguns autores em particular que ele escreveu mais artigos (esse fenômeno será visto mais adiante).



Os Seis Graus de Erdős

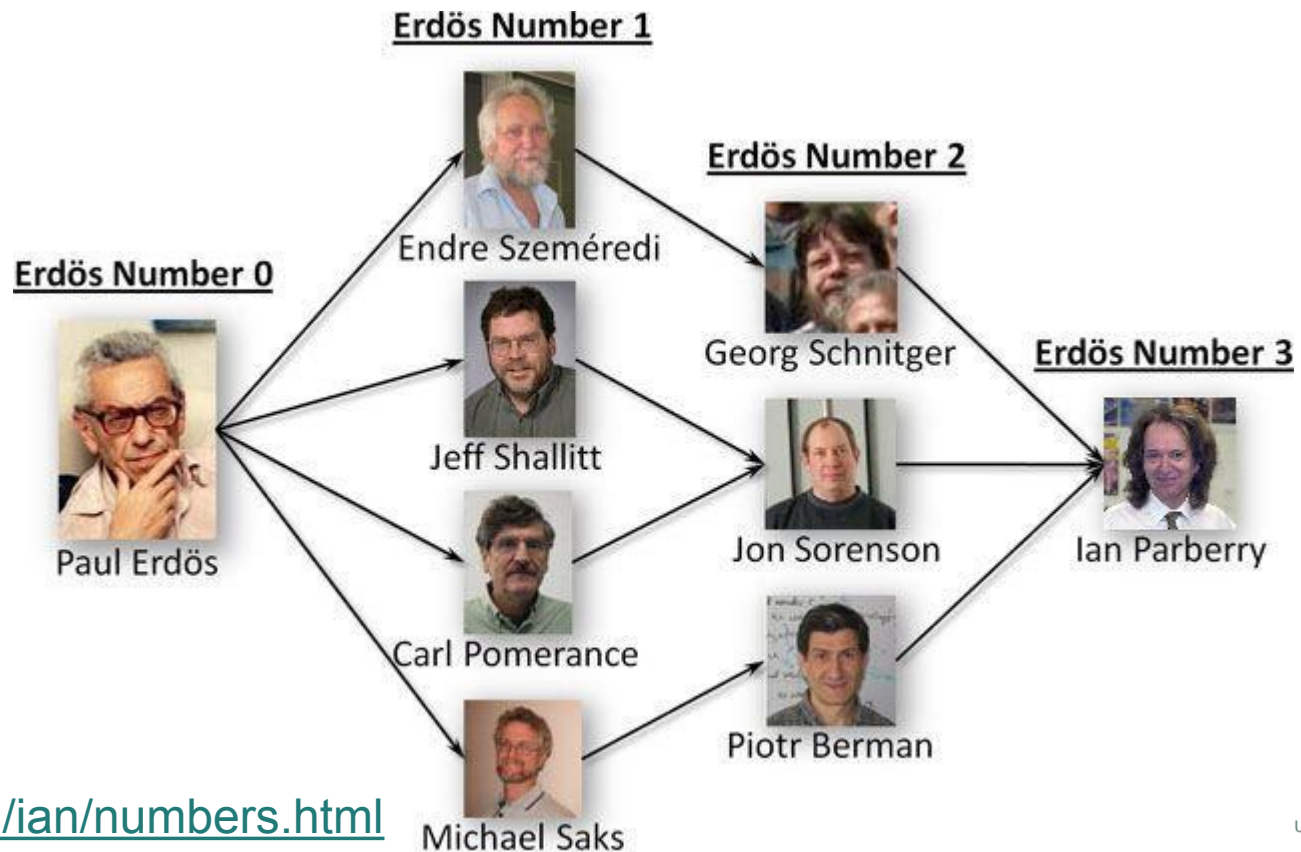
Dos dados coletados foi criado o número de Erdős:

- ❑ Um autor que escreveu um artigo em co-autoria com Erdős tem um número de Erdős igual a 1.
- ❑ Um autor que não escreveu nenhum artigo em co-autoria com ele, mas escreveu em co-autoria com alguém com valor 1 teria um número de Erdős igual a 2
- ❑ E assim por diante...



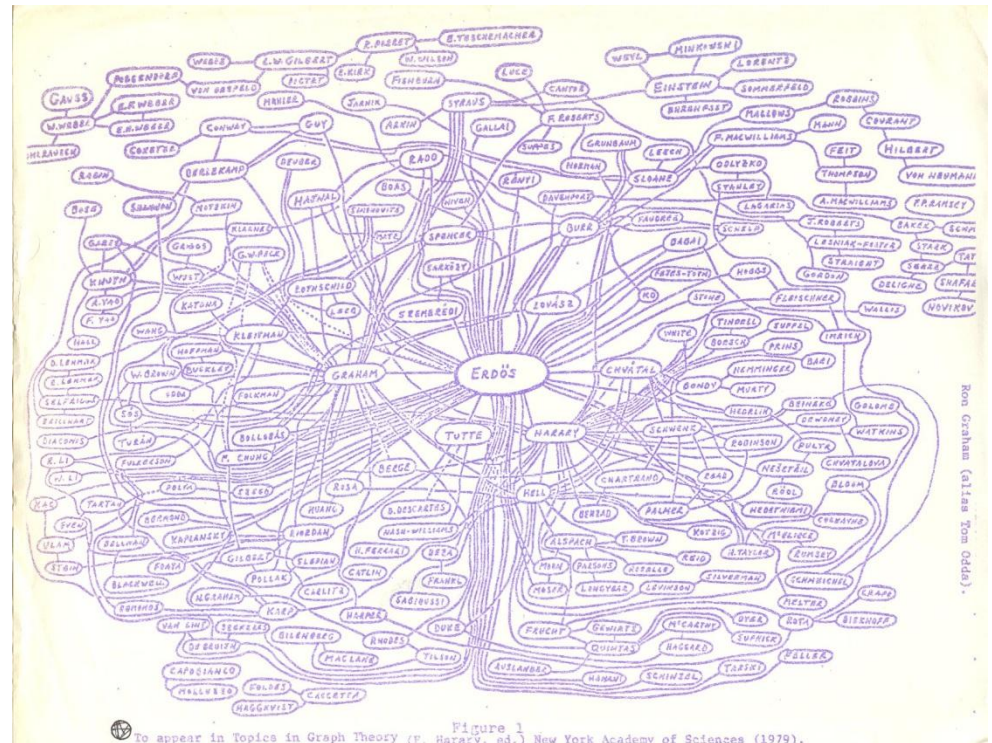
Os Seis Graus de Erdős

O número de Erdős varia entre 0 (ele mesmo) até 15, tendo uma média de 4,65, não muito distante dos seis graus de separação.



Os Seis Graus de Erdős

Por conta da interdisciplinaridade que temos atualmente no meio científico, muitos cientistas de diversas áreas possuem um número de Erdős finito



<http://www.oakland.edu>

A rede de co-autoria de Erdős tem apenas poucos elementos desconectados



Os Seis Graus de Erdős

O número de Erdős pode ser verificado em:
<http://www.ams.org/mathscinet/collaborationDistance.html>

MR Erdos Number = 5

Fabício Olivetti de França	coauthored with	Fernando José Von Zuben	MR2506290
Fernando José Von Zuben	coauthored with	Antônio Carlos Moretti	MR3118526
Antônio Carlos Moretti	coauthored with	Earl R. Barnes	MR1673081
Earl R. Barnes	coauthored with	Alan J. Hoffman	MR1158814
Alan J. Hoffman	coauthored with	Paul Erdős ¹	MR0565328

Change First Author

Change Second Author

New Search



Os Seis Graus de Bacon



<http://oracleofbacon.org/>



Os Seis Graus de Bacon

Similar ao número de Erdős, no jogo dos Seis Graus de Bacon procura-se verificar o grau de separação entre o ator Kevin Bacon e todos os outros atores de Hollywood.

Utilizou-se a base de dados disponível no site <http://www.imdb.com/interfaces/>



Os Seis Graus de Bacon

- ❑ Kevin Bacon obviamente tem grau 0.
- ❑ Um ator tem grau de bacon 1 se ele atuou em um mesmo filme que Kevin Bacon.
- ❑ Um ator tem grau de bacon 2 se ele nunca contracenou com Kevin Bacon mas atuou em um filme com um ator que tem grau 1.
- ❑ O número médio atual de Bacon é **2,989**.



Os Seis Graus de Bacon

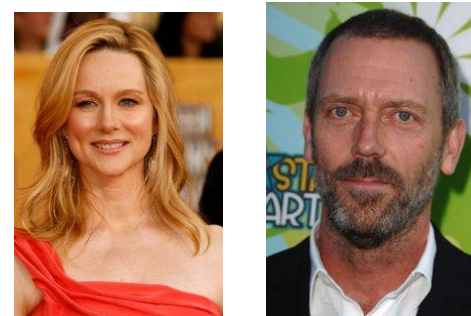
The Great New Wonderful



Mystic River



Arthur Christmas



Sleepers



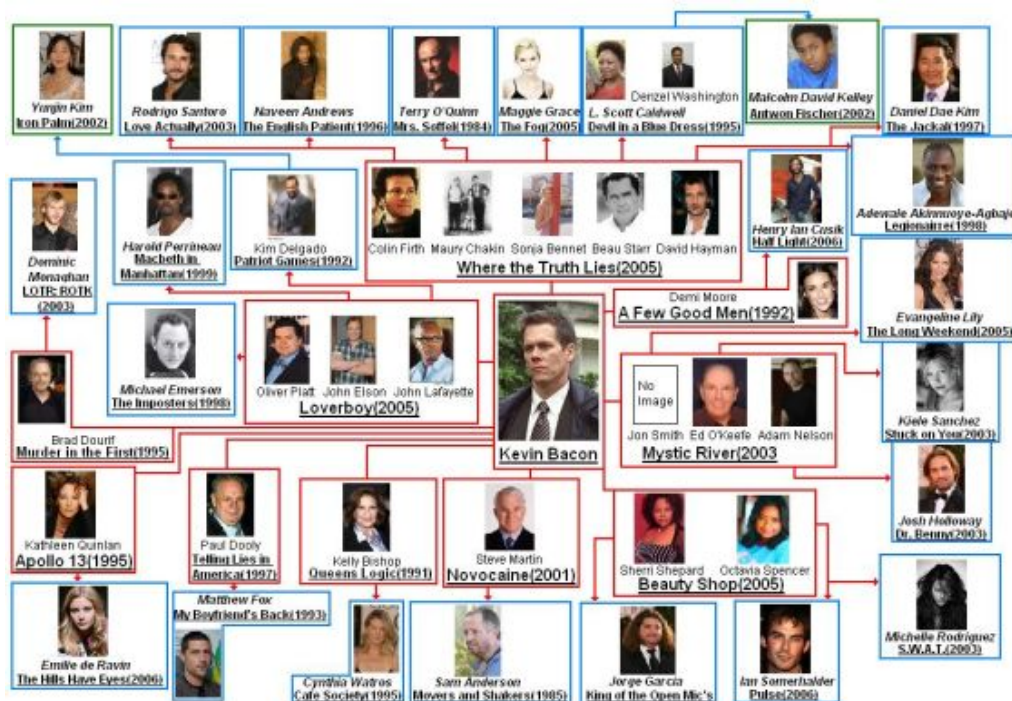
Inglourious Basterds



Os Seis Graus de Bacon

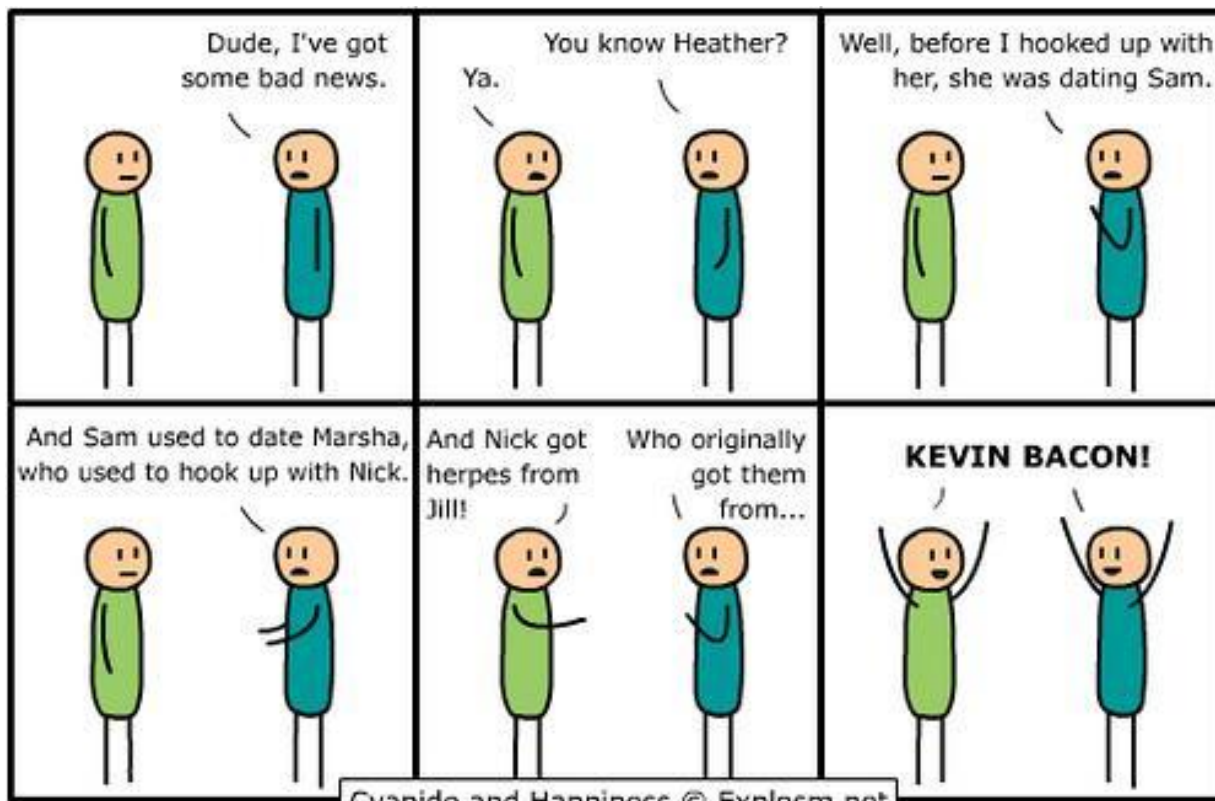
O maior grau de Bacon até o momento é **8**.

Aproximadamente **12%** dos atores não conseguem se conectar com Bacon.



Os Seis Graus de Bacon

Dennis Hopper é um melhor centro para esse jogo, tendo um grau médio de separação de 2,835 em relação aos outros atores.



Os Seis Graus de Bacon

Existem pessoas com número de Bacon **E** número de Erdős!!!

Bruce Reznick, professor da Universidade de Illinois tem um número de Erdős igual a 1 e um número de Bacon igual a 2, pois foi um extra em *Pretty Maids All in a Row* com Roddy McDowall.

Mais informações:

http://en.wikipedia.org/wiki/Erd%C5%91s%E2%80%93Bacon_number



Resumo

O menor caminho entre dois nós pode ser encontrada através da:

- Busca em largura para redes não-ponderadas
- Dijkstra para redes ponderadas

Conhecer as estatísticas dessas distâncias (média, máximo, mínimo) nos permite extrair conhecimento.



Resumo

- Quantos passos preciso percorrer para ter um bom alcance nas redes sociais?

A distância média nos diz o número de intermediários esperado para que a informação chegue até a maioria dos usuários.

Tentar disseminar uma informação que percorra caminhos com essa distância.



Resumo

- Quão próximos dois assuntos devem estar para ser considerados relevantes?

Vimos que na Wikipedia chegamos em qualquer assunto partindo de outro, isso não faz com que essa relação seja relevante.

Sabendo o caminho médio, podemos definir que tudo abaixo da média representa artigos bem relacionados.



Resumo

- Custo de construção de uma rodovia X otimização dos caminhos

Quanto maior a distância em km para interligar dois pontos maior o custo da construção.

Quanto maior a distância média percorrida pelos motoristas, maior insatisfação.

Como equilibrar os dois?





Universidade Federal do ABC

SLIDES EXTRAS

Monte o que?

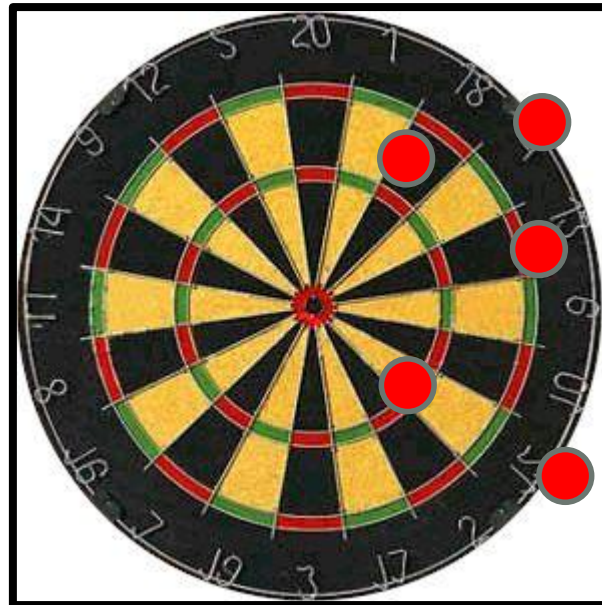
Monte Carlo é um conjunto de métodos para investigar eventos estocásticos ou com informações parciais.

Um desses métodos, chamados de “Acerto e erro”, simplesmente gera amostras aleatórias, dentro do que é viável, e estima o resultado à partir do conjunto final de amostras.



Monte Carlo

Imagine um alvo de um jogo de dardos:

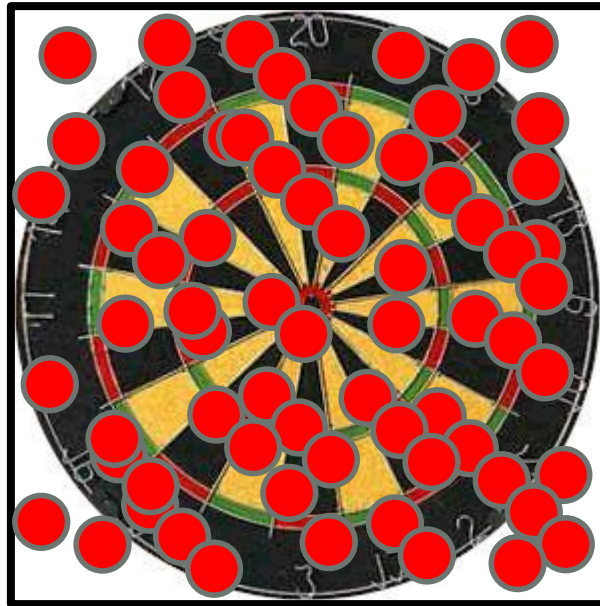


Se você tem uma péssima mira, os dardos irão atingir partes aleatórias do alvo (ou até mesmo fora do alvo).



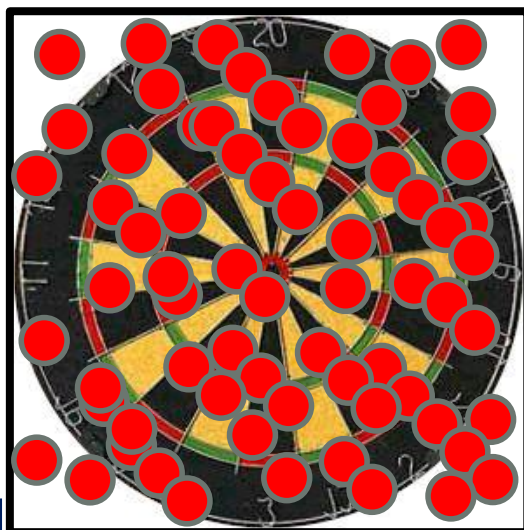
Monte Carlo

Se jogarmos um número **MUITO GRANDE** de dardos podemos estimar o valor de π .



Monte Carlo

Levando em conta que a chance de acertar um dardo em qualquer região é a mesma

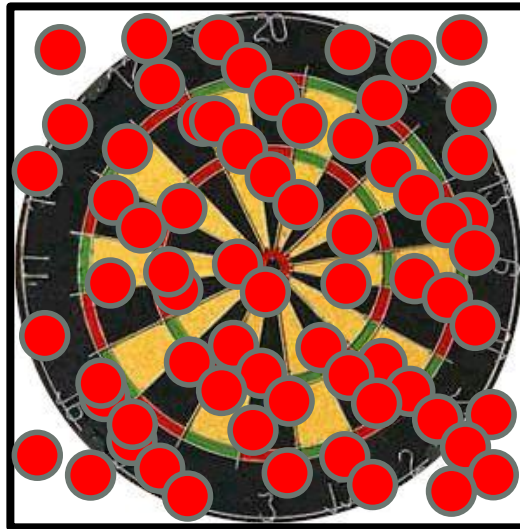


o número de dardos que atingem o alvo dividido pelo número total de dardos será aproximadamente igual a divisão da área do círculo pela área do quadrado, que é igual a $\pi/4$.



Monte Carlo

Percebe-se que essa técnica depende do número de amostras (devemos obter um número suficiente) e da escolha de uma distribuição de probabilidade adequada (nem sempre o evento aleatório é uniforme).



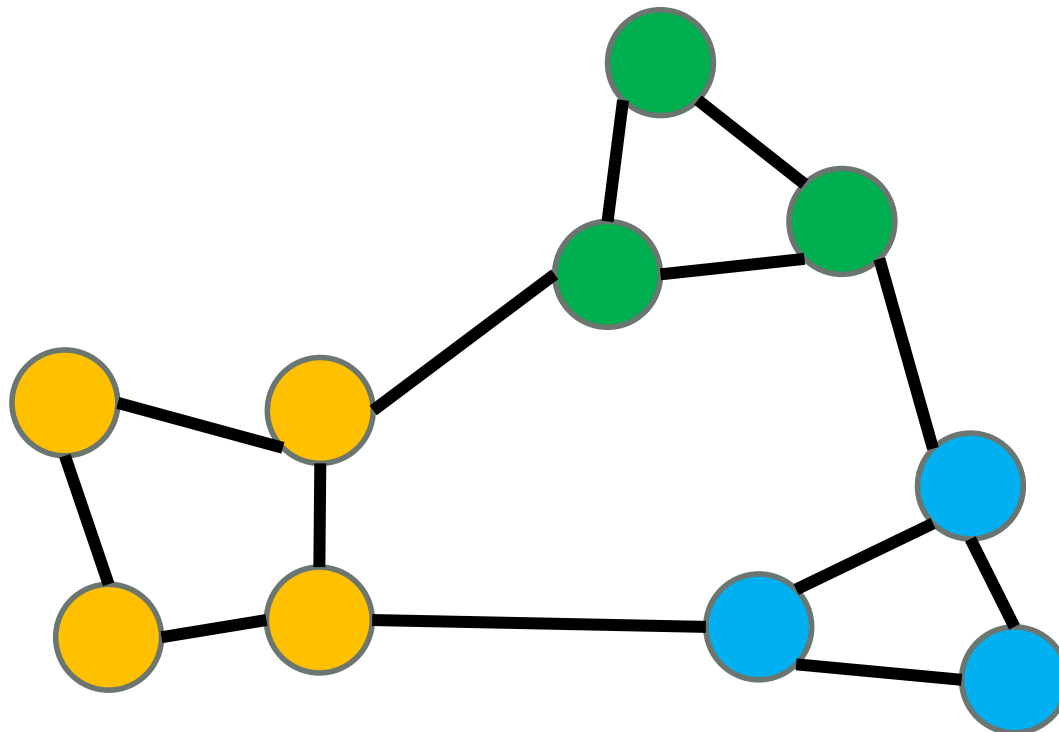


Universidade Federal do ABC

DISTÂNCIA EM REDES DESCONHECIDAS

Redes Desconhecidas

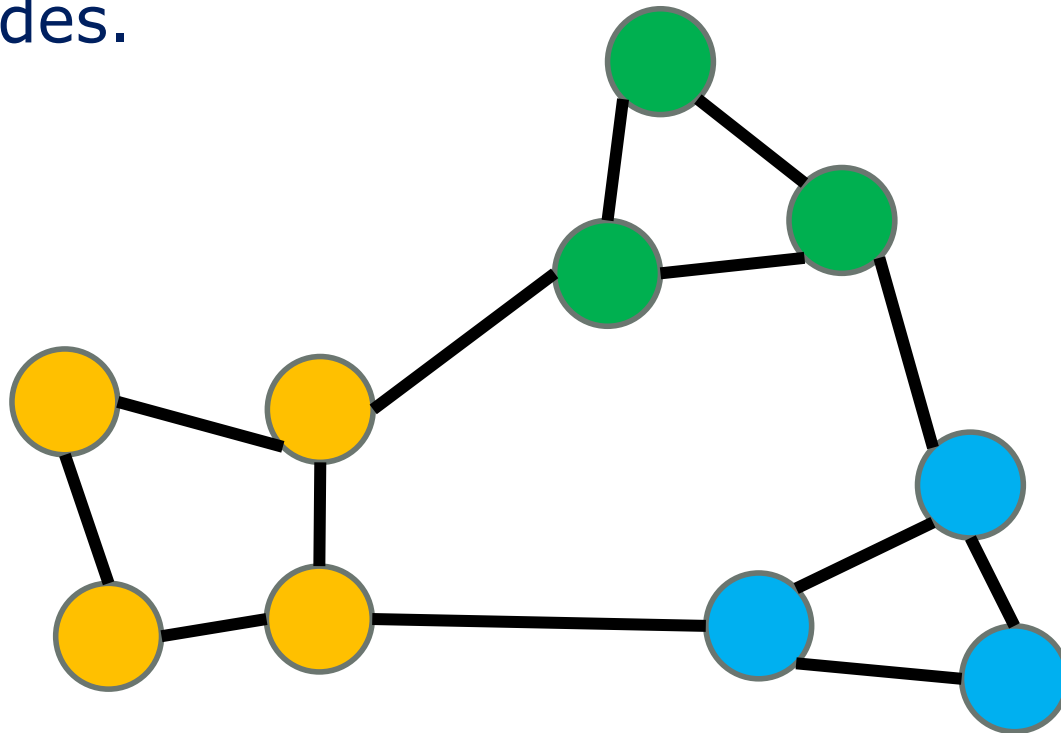
Uma rede de computadores de larga escala (como a Internet) não tem uma estrutura determinada por algum órgão regulador, ou seja, ela é descentralizada.



Redes Desconhecidas

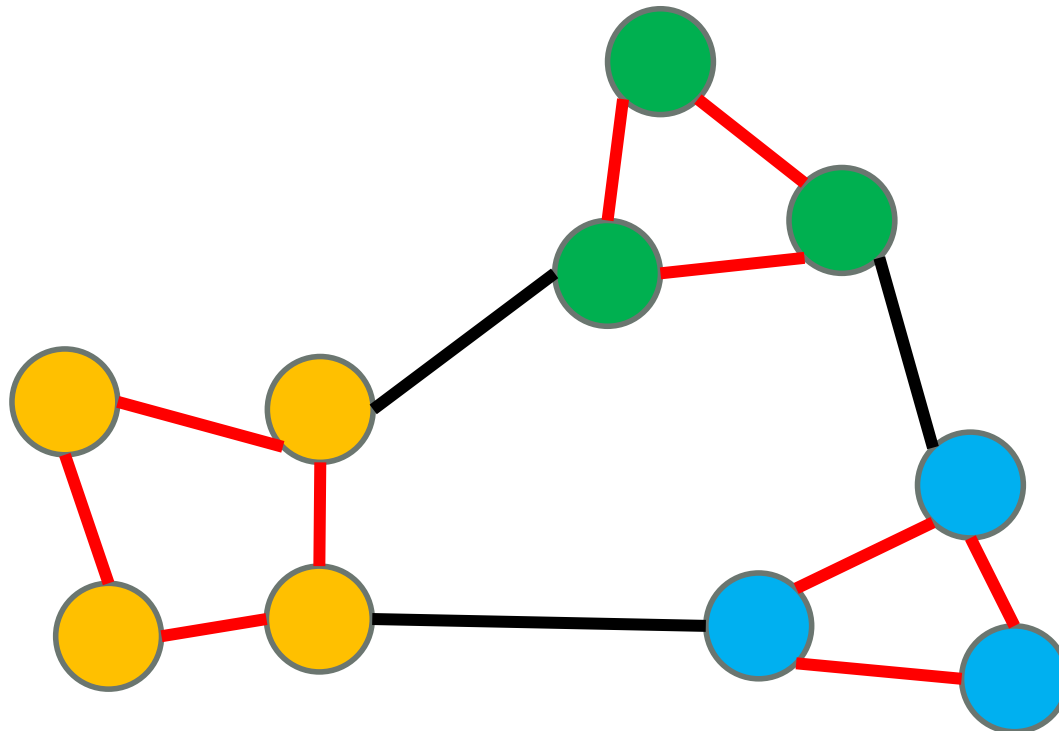
Nessa rede os nós representam os roteadores de uma rede local e as arestas as conexões físicas entre eles.

Existem dois tipos de conexões: inter-redes e intra-redes.



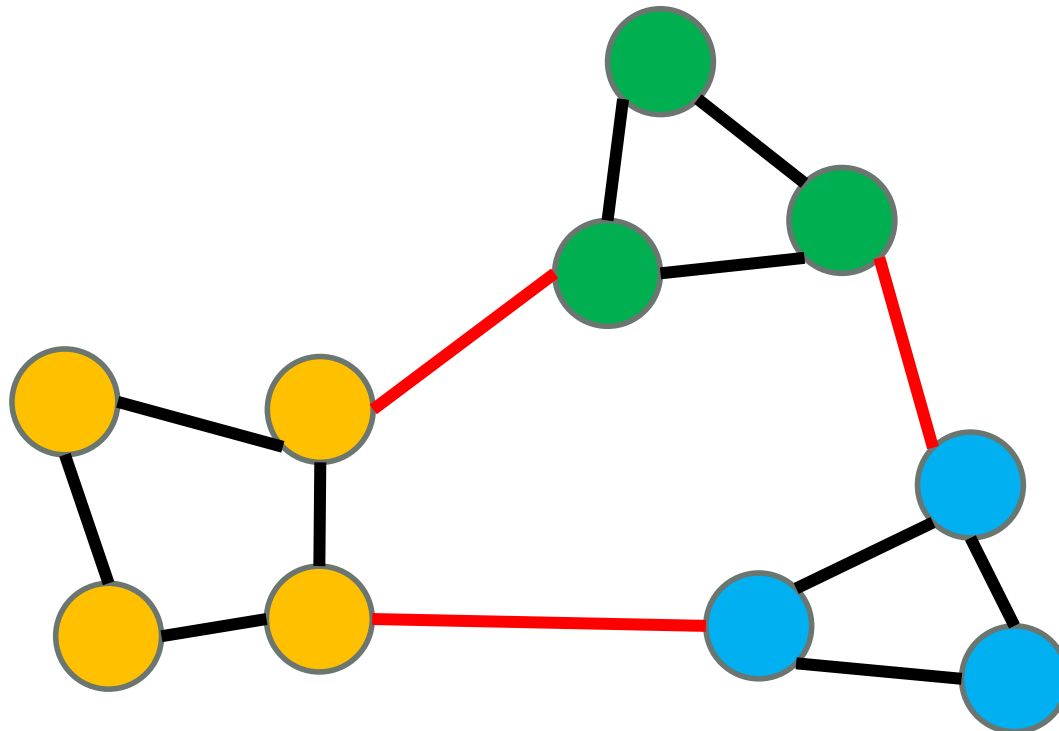
Redes Desconhecidas

As conexões inter-redes são as arestas que interconectam roteadores de uma mesma rede local.



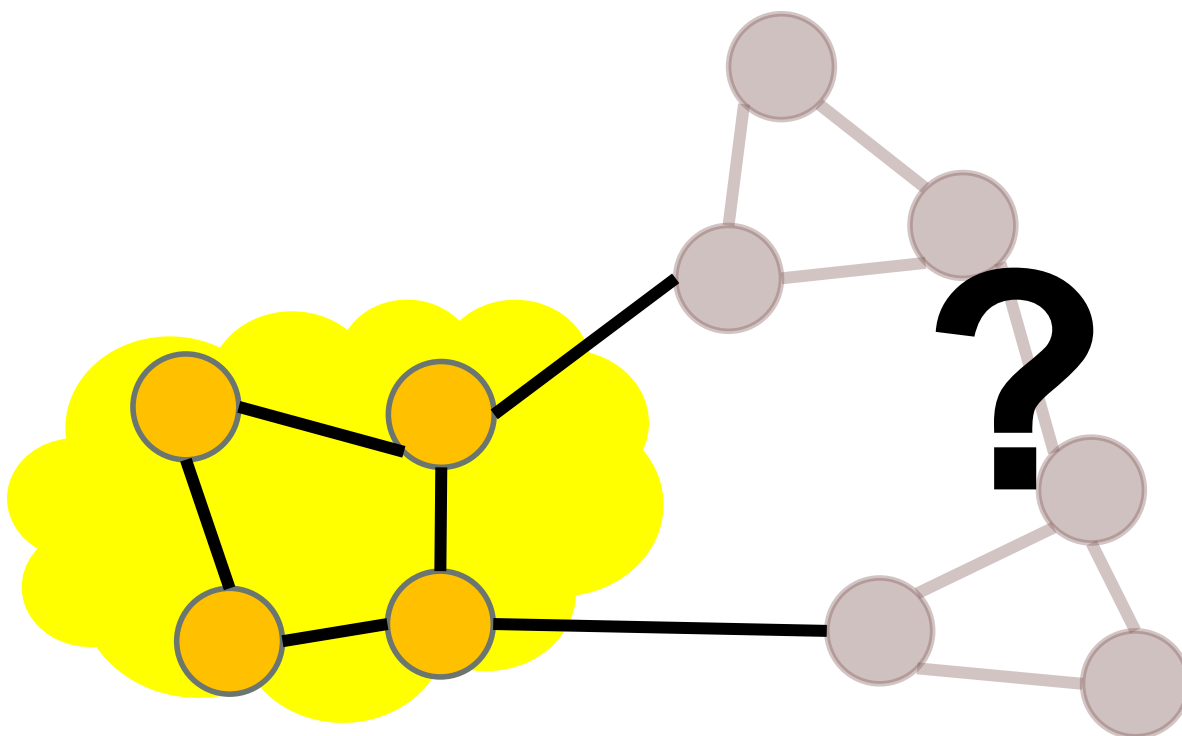
Redes Desconhecidas

As conexões intra-redes são as arestas que interconectam roteadores de redes distintas.



Redes Desconhecidas

Por causa dessa descentralização, as redes não possuem conhecimento de qual a melhor rota para atingir nós que estão localizados em outras redes.

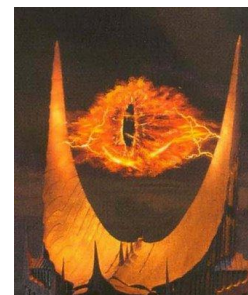
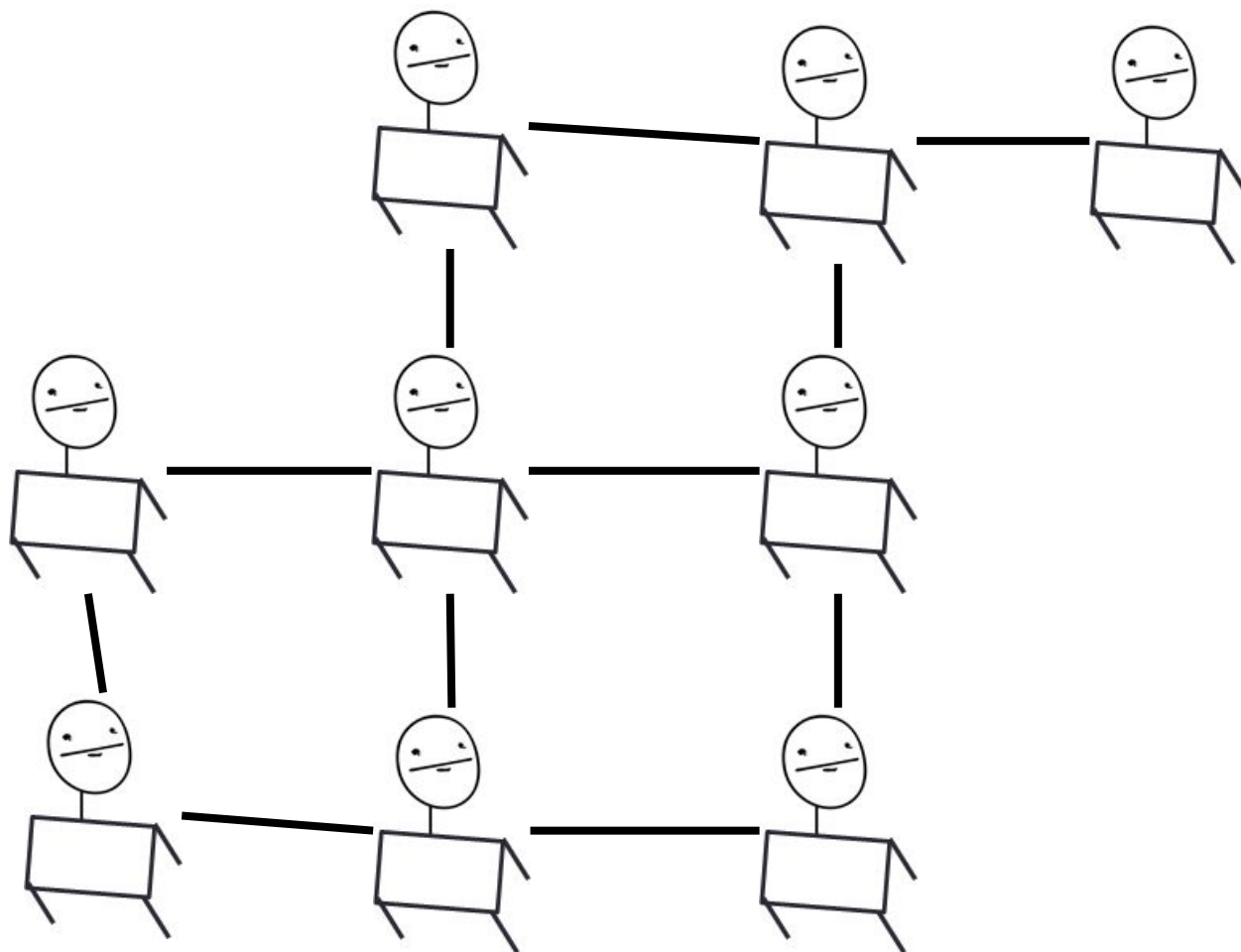


Redes Desconhecidas

Mesmo descobrindo as rotas ótimas de alguma forma elas dificilmente permanecem a mesma pois roteadores podem quebrar e ligações podem congestionar.



Situação Hipotética



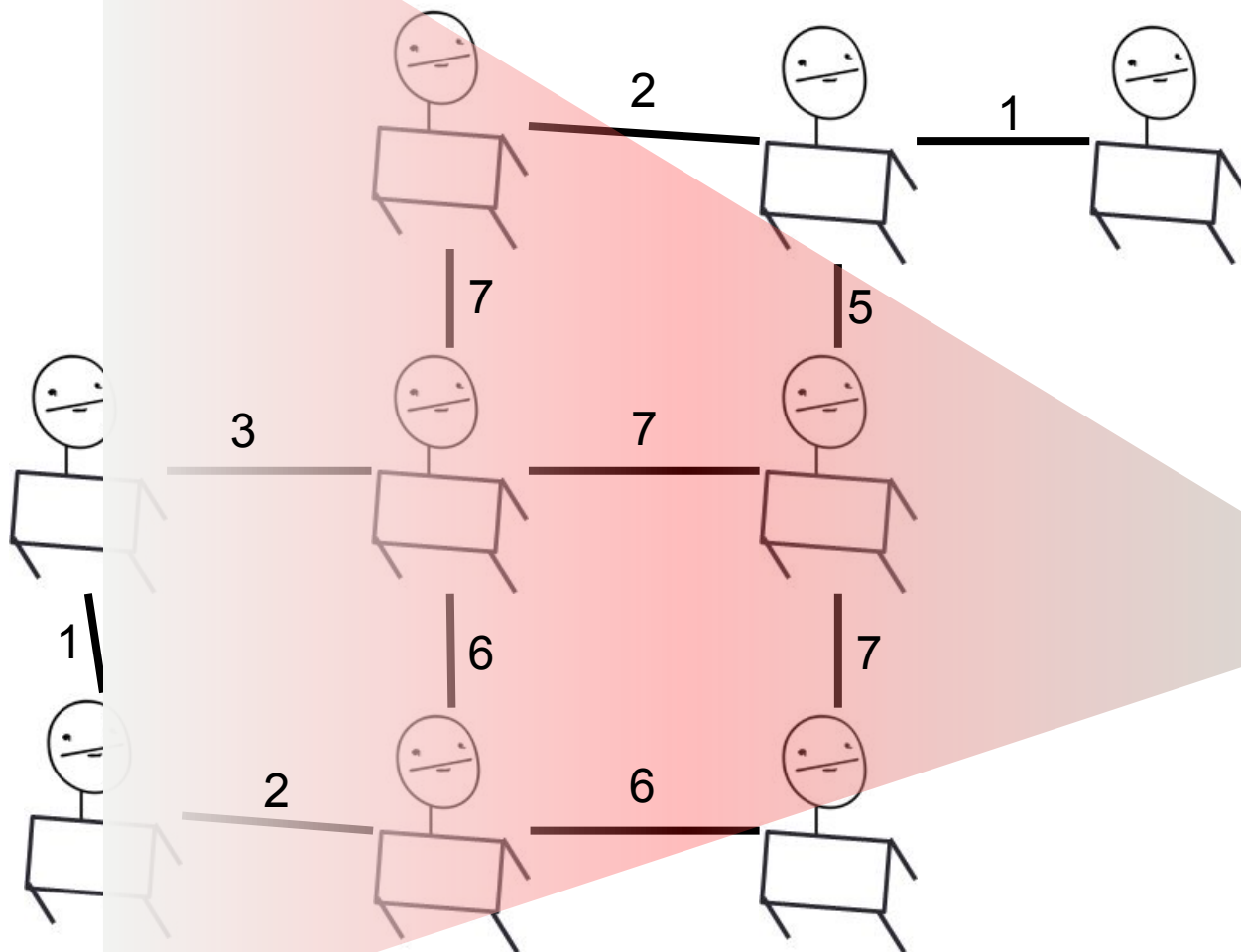
Situação Hipotética

Em um dia de prova os alunos (nós) podem ser vistos como uma rede formada de acordo com o posicionamento em relação aos seus colegas (arestas existem quando um colega está ao lado, acima ou abaixo)

Os pesos dessas arestas podem ser mensuradas de acordo com o risco do professor ver uma possível trapaça



Situação Hipotética



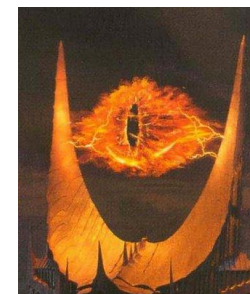
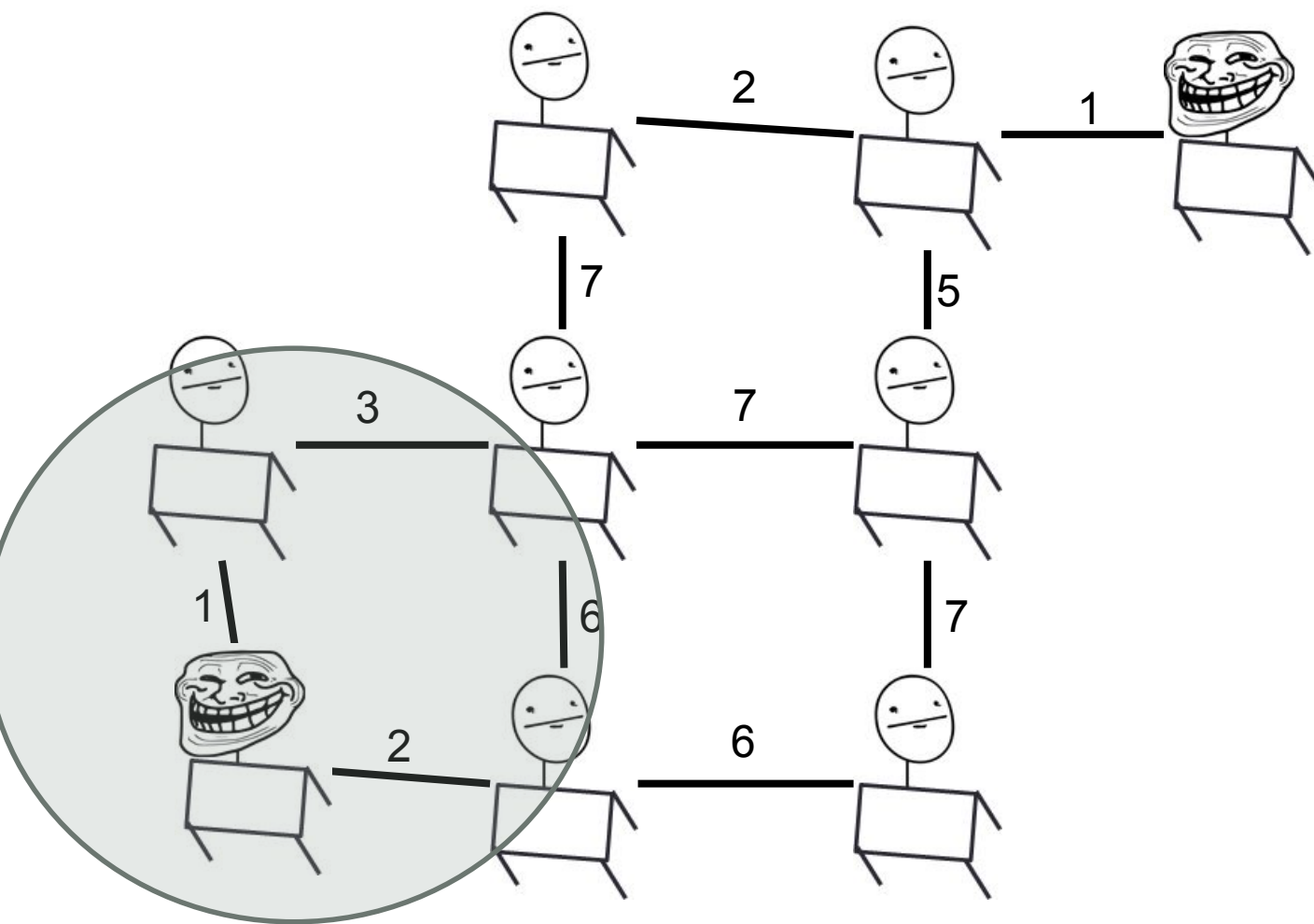
Situação Hipotética

Um dos alunos resolve passar cola para um colega que se encontra na outra ponta

Ele só consegue ver os colegas imediatamente ao lado, portanto ele não consegue perceber a priori qual o melhor caminho



Situação Hipotética

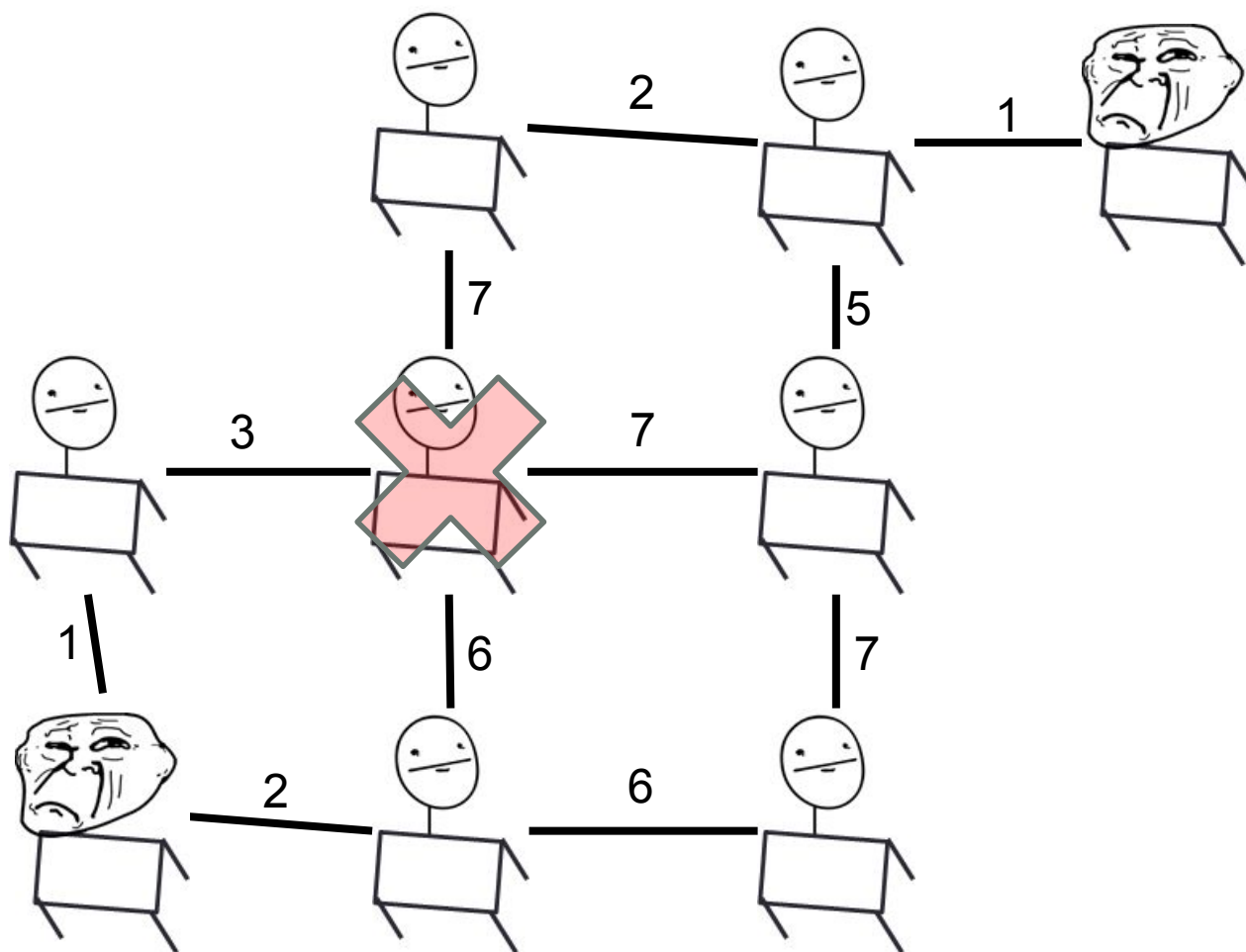


Situação Hipotética

E, mesmo que ele consiga de alguma forma determinar o melhor caminho, um dos colegas que ajudavam a passar a cola entrega a prova e vai embora



Situação Hipotética



Situação Hipotética

Como determinar o melhor caminho (ou quase melhor) em uma situação como essa e que, ao ocorrer alguma alteração na rede, ser possível determinar um novo caminho o mais rápido possível?



Algoritmo de Roteamento

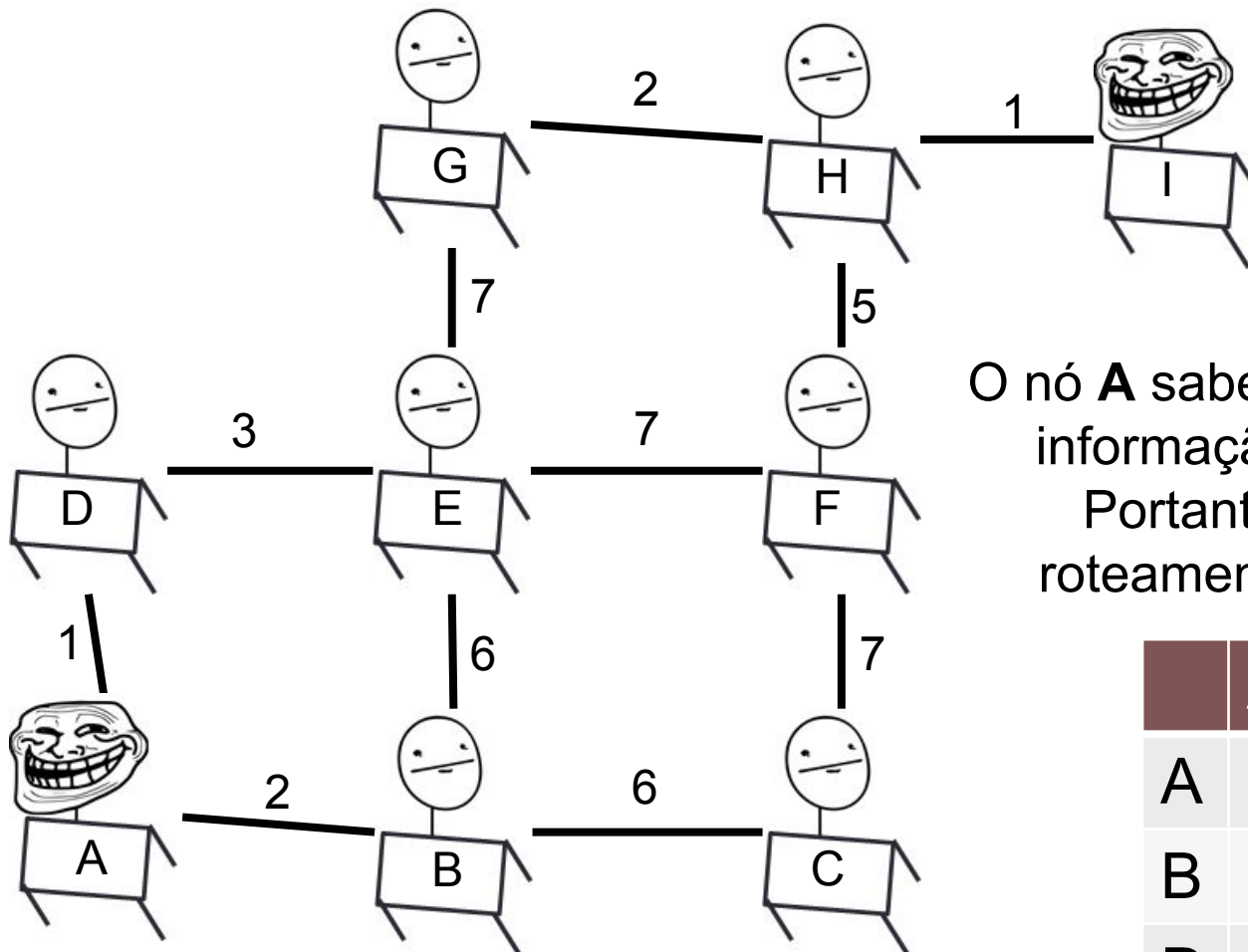
Esse problema é resolvido através dos algoritmos de roteamento.

Nesses algoritmos existem uma “colaboração” entre cada nó com seus vizinhos para compartilhar a informação conhecida localmente por cada um deles.

Dessa forma cada roteador é capaz de estimar a melhor rota para enviar a informação.



Algoritmo de Roteamento

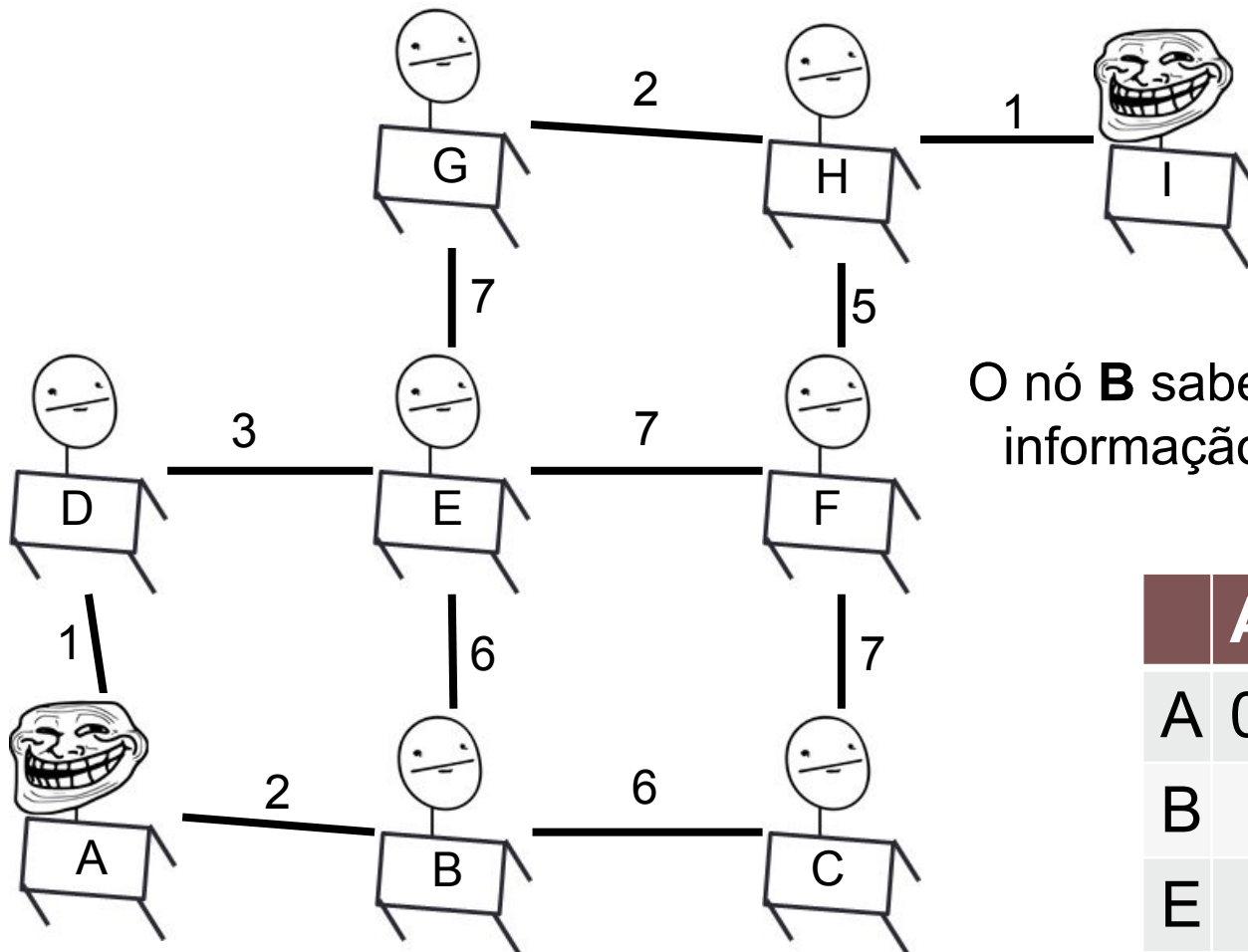


O nó **A** sabe o custo para enviar informação aos nós **B** e **D**.
Portanto sua tabela de roteamento inicialmente é:

	A	B	D
A	0	2	1
B		0	3
D			0



Algoritmo de Roteamento

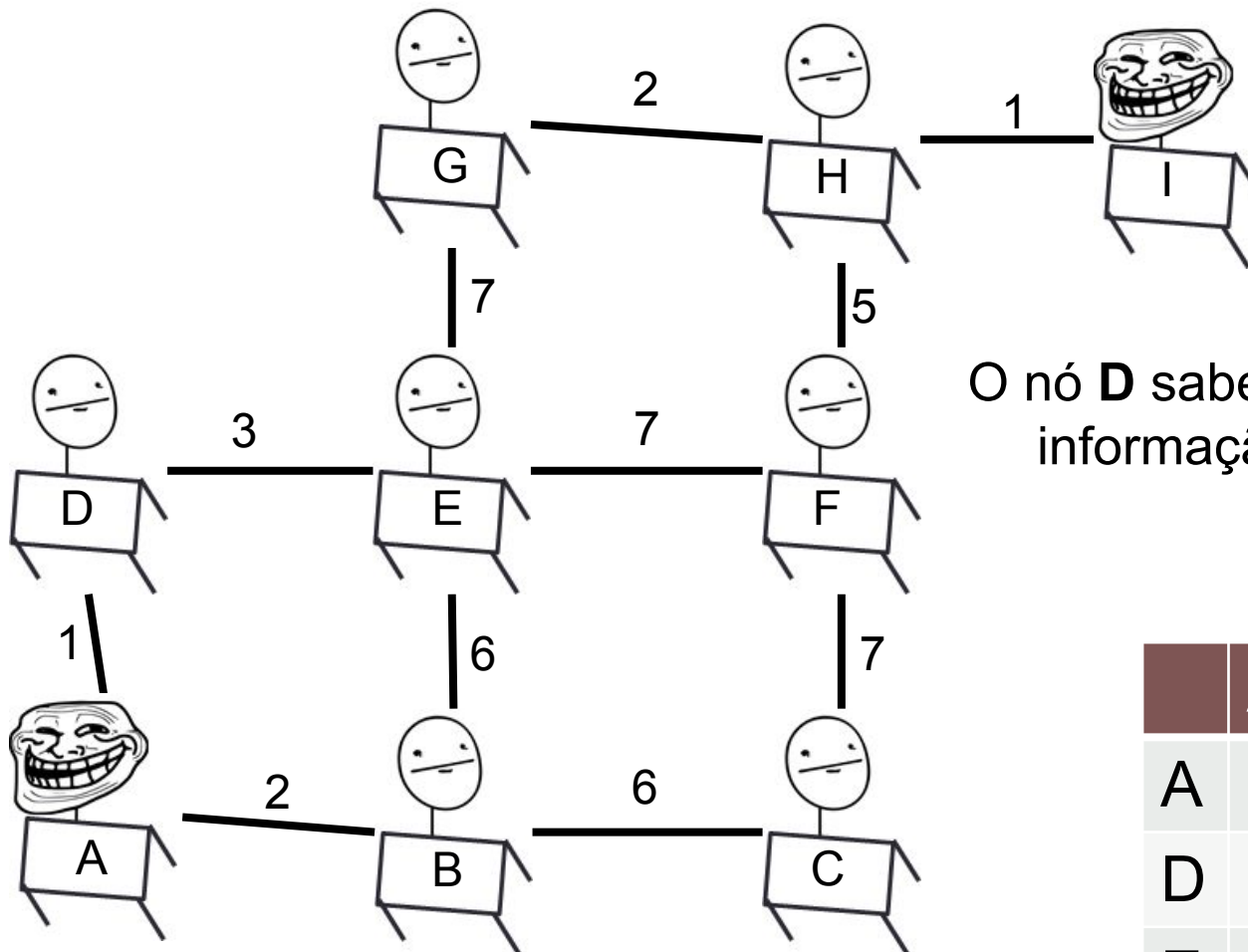


O nó **B** sabe o custo para enviar informação aos nós **A**, **E** e **C**:

	A	B	E	C
A	0	2	8	8
B		0	6	6
E			0	12
C				0



Algoritmo de Roteamento



O nó **D** sabe o custo para enviar informação aos nós **A** e **E**:

	A	D	E
A	0	1	4
D		0	3
E			0



Algoritmo de Roteamento

Ao conhecer as 3 tabelas, o nó **A** recalcula as distâncias aumentando sua tabela de caminhos mínimos conhecidos:

A	A	B	D
A	0	2	1
B		0	3
D			0

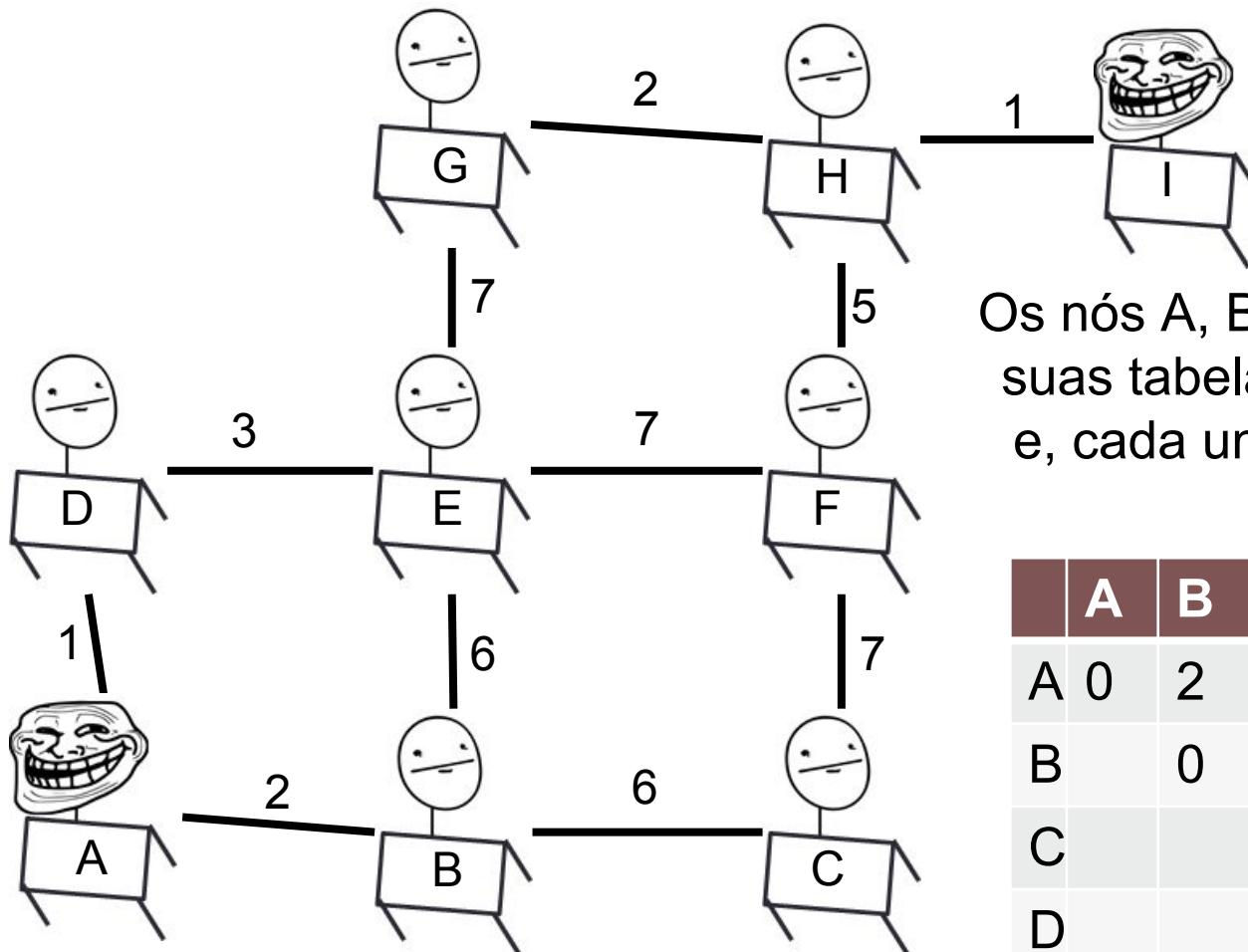
D	A	D	E
A	0	1	4
D		0	3
E			0

B	A	B	E	C
A	0	2	8	8
B		0	6	6
E			0	12
C				0

	A	B	C	D	E
A	0	2	8(B)	1	4 (D)
B		0	6	3(A)	6
C			0	9(B)	12
D				0	3
E					0



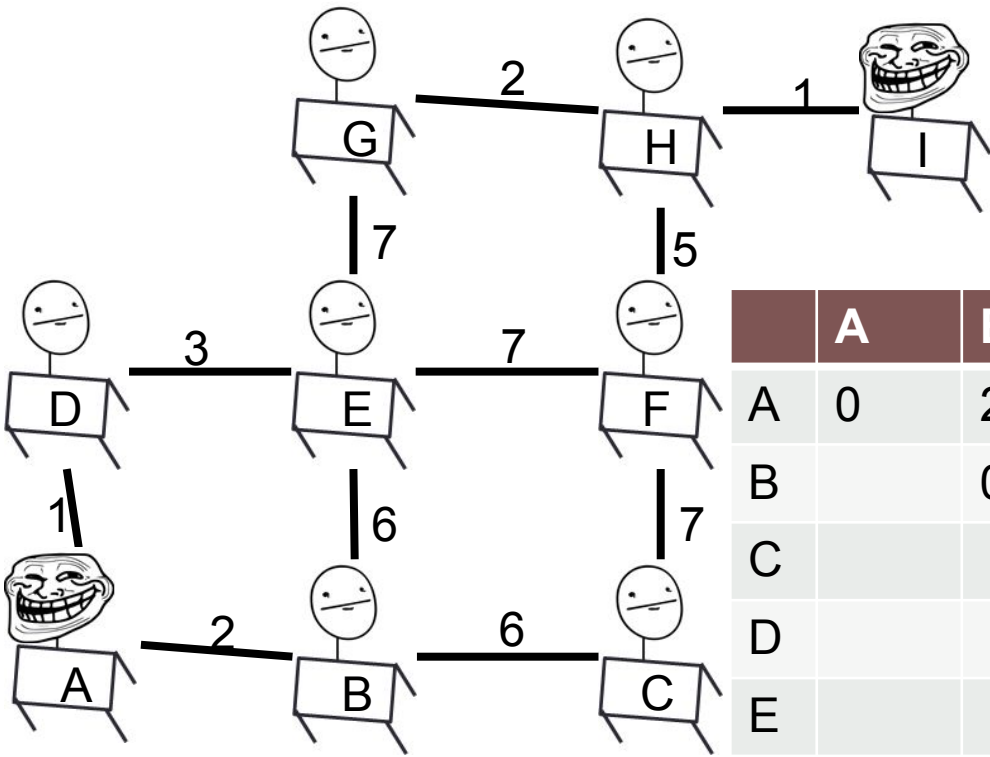
Algoritmo de Roteamento



Os nós A, B e D compartilham suas tabelas de rota entre si e, cada um, terá a seguinte tabela:

	A	B	C	D	E
A	0	2	8(B)	1	4 (D)
B		0	6	3(A)	6
C			0	9(B)	12
D				0	3
E					0

Algoritmo de Roteamento



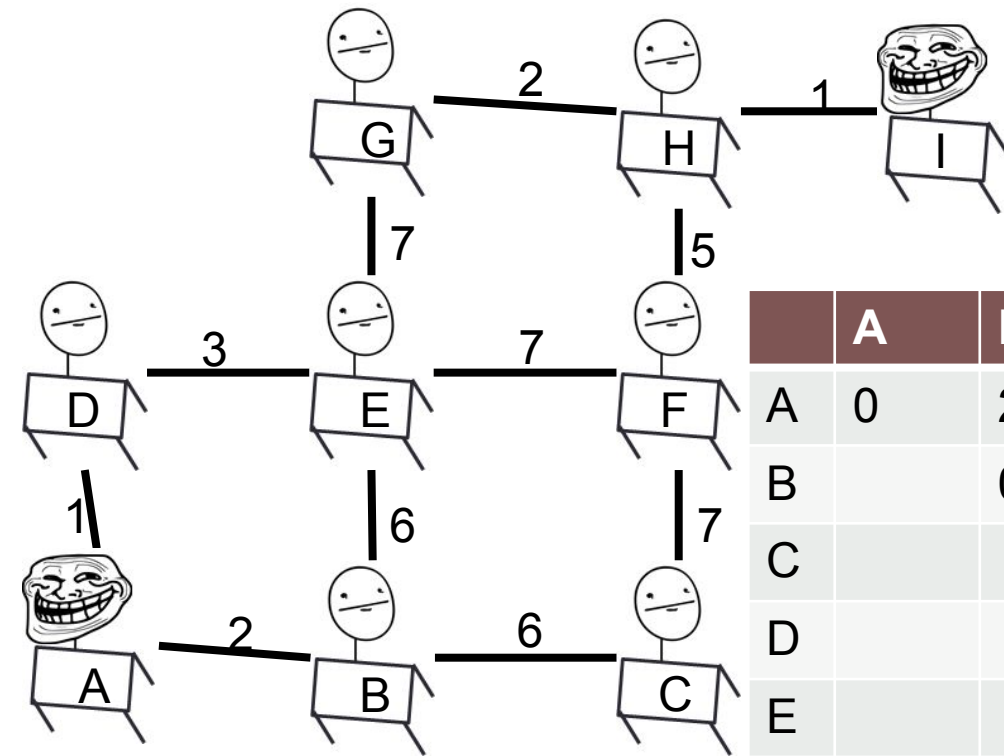
Quando o nó E envia suas informações locais, a tabela aumenta:

	A	B	C	D	E	F	G
A	0	2	8(B)	1	4(D)	11(D)	11(D)
B		0	6	3(A)	6	13(E)	13(E)
C			0	9(B)	12(B)	19(B)	19(B)
D				0	3	10(E)	10(E)
E					0	7	7
F						0	14(E)
G							0



Algoritmo de Roteamento

As informações obtidas por C pouco alteram a tabela:

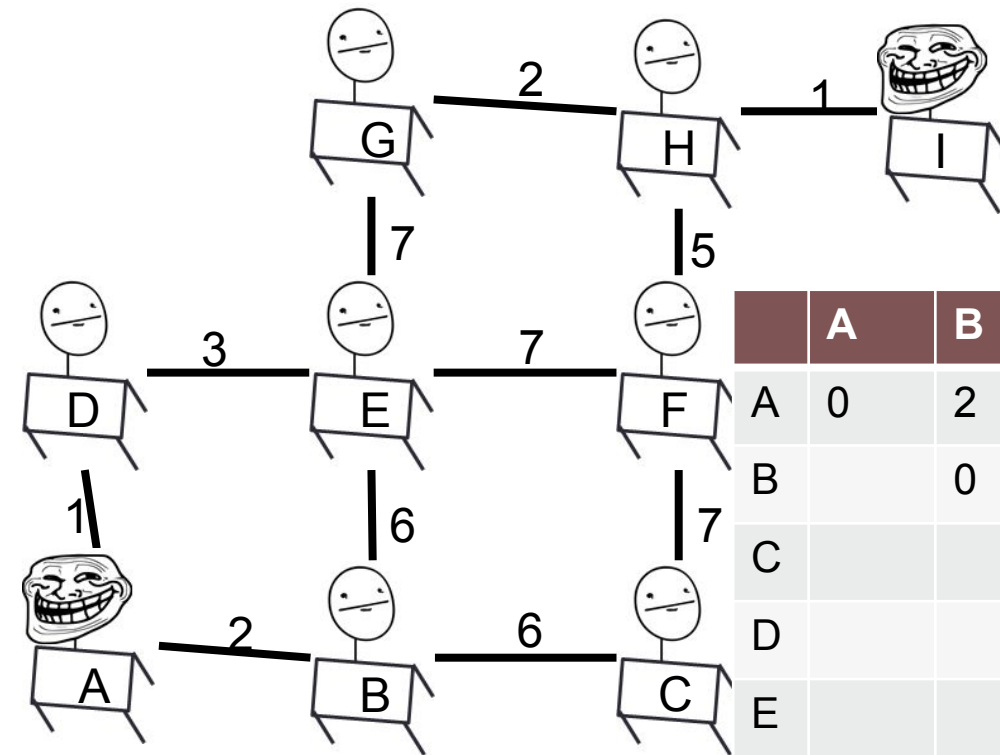


	A	B	C	D	E	F	G
A	0	2	8(B)	1	4(D)	11(D)	11(D)
B		0	6	3(A)	6	13(E)	13(E)
C			0	9(B)	12(B)	7	19(B)
D				0	3	10(E)	10(E)
E					0	7	7
F						0	14(E)
G							0



Algoritmo de Roteamento

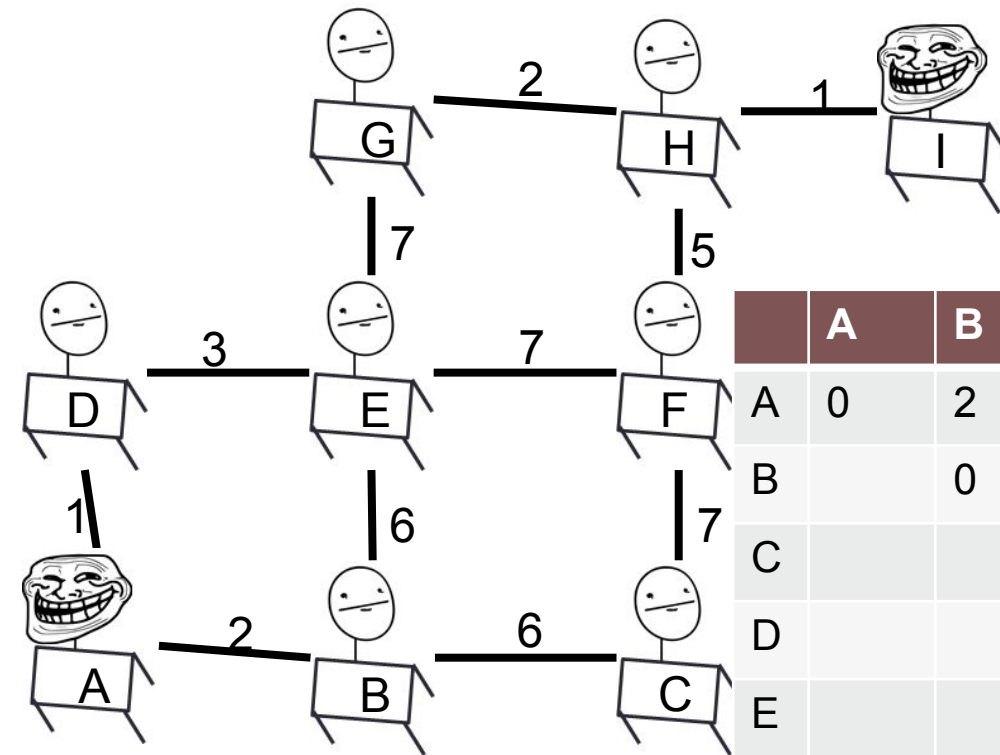
As informações de F aumentam a tabela:



	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	2	8(B)	1	4(D)	11(D)	11(D)	16(D)
B		0	6	3(A)	6	13(E)	13(E)	18(E)
C			0	9(B)	12(B)	7	19(B)	12(F)
D				0	3	10(E)	10(E)	15(E)
E					0	7	7	12(F)
F						0	14(E)	5
G							0	19(E)
H								0

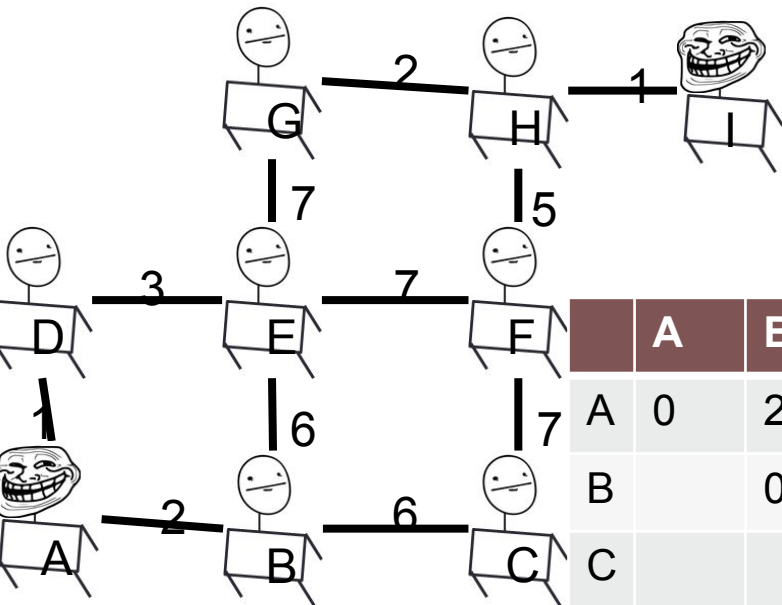
Algoritmo de Roteamento

Com G atualizamos a tabela novamente:



	A	B	C	D	E	F	G	H
A	0	2	8(B)	1	4(D)	11(D)	11(D)	13(D)
B		0	6	3(A)	6	13(E)	13(E)	15(E)
C			0	9(B)	12(B)	7	19(B)	12(F)
D				0	3	10(E)	10(E)	12(E)
E					0	7	7	9(G)
F						0	14(E)	5
G							0	2
H								0

Algoritmo de Roteamento



Com H descobrimos o último nó e completamos a tabela:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
A	0	2	8(B)	1	4(D)	11(D)	11(D)	13(D)	14(D)
B		0	6	3(A)	6	13(E)	13(E)	15(E)	16(E)
C			0	9(B)	12(B)	7	19(B)	12(F)	13(F)
D				0	3	10(E)	10(E)	12(E)	13(E)
E					0	7	7	9(G)	10(G)
F						0	14(E)	5	6(H)
G							0	2	3(H)
H								0	1
I									0