A decorative graphic consisting of a thin yellow circle on the left side. A thick black bracket is positioned on the left, and a thick yellow bracket is on the right, both framing a horizontal bar. The bar has a light yellow-to-white gradient and contains the title text.

# Novas Tecnologias de Redes de Computadores

Ricardo José Cabeça de Souza

[www.ricardojcsouza.com.br](http://www.ricardojcsouza.com.br)

[rjcsouza@superig.com.br](mailto:rjcsouza@superig.com.br)

2013

**MANET (Mobile Ad Hoc Network)**



# Redes Ad Hoc

Características Esperadas  
com Roteamento

# CARACTERÍSTICAS ESPERADAS DOS PROTOCOLOS ROTEAMENTO

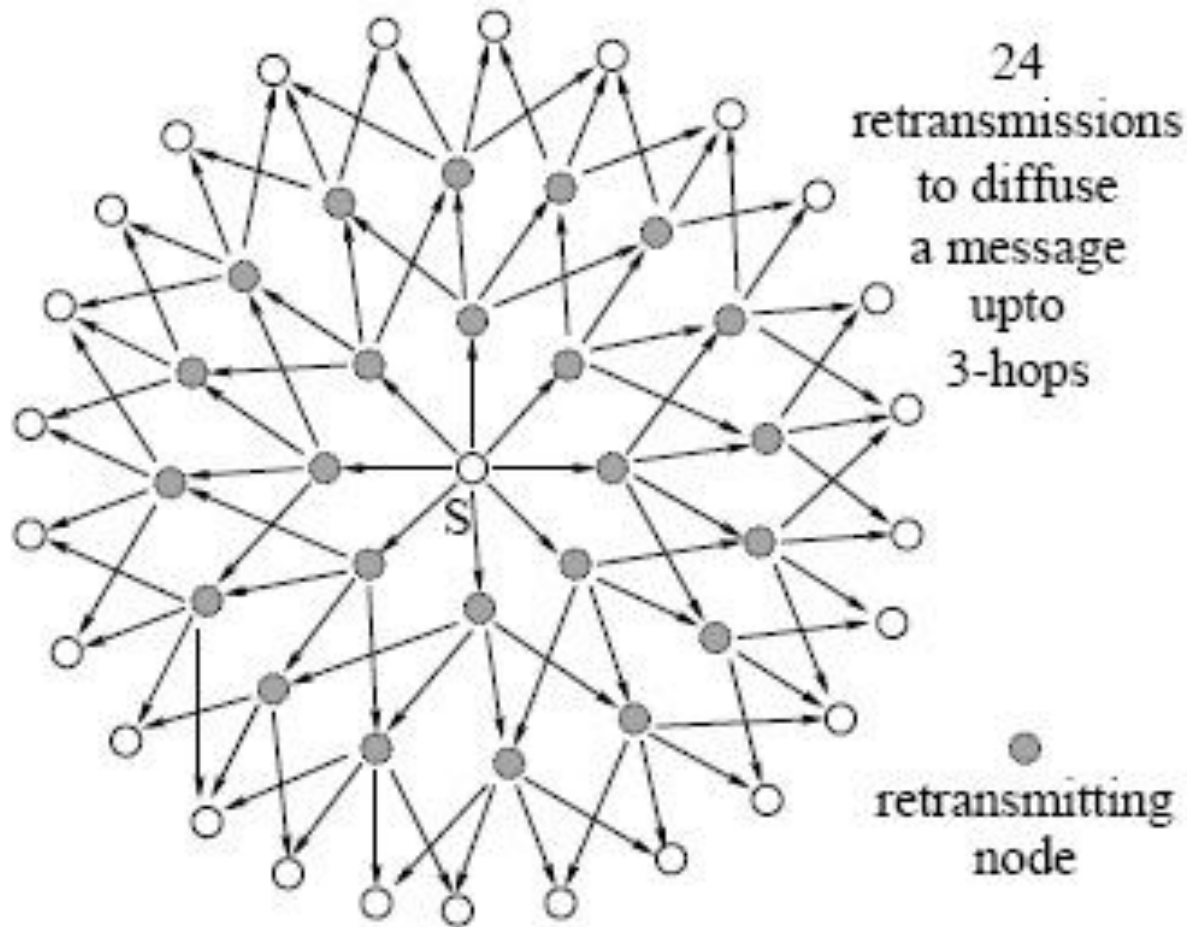
- Escolha da melhor rota
- Simplicidade
- Robustez
- Estabilidade
- Rapidez convergência para o caminho ótimo
- Flexibilidade
- Aceitar parâmetros de qualidade de serviço (QoS)
- Ser independente da tecnologia da rede

# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

## ■ FLOODING (INUNDAÇÃO)

- Pacote chega no nó é enviado para todos os outros hosts menos para o que lhe enviou a mensagem
- Host destino vai receber a comunicação, talvez até mais de uma vez
- Problema de escalabilidade da rede
- Problema de loops de roteamento
- Atribuição TTL → qual o tempo ideal para o pacote chegar ao destino, sem desperdício dos recursos da rede?

# [ FLOODING (INUNDAÇÃO) ]



# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

## ■ LINK STATE

- Utilizado Open Shortest Path First (OSPF)
- Grande potencial de prover rotas observando vários critérios
- Rápida convergência
- Nó percebe uma mudança no estado dos seus vizinhos ele faz um flooding desta mudança pela rede

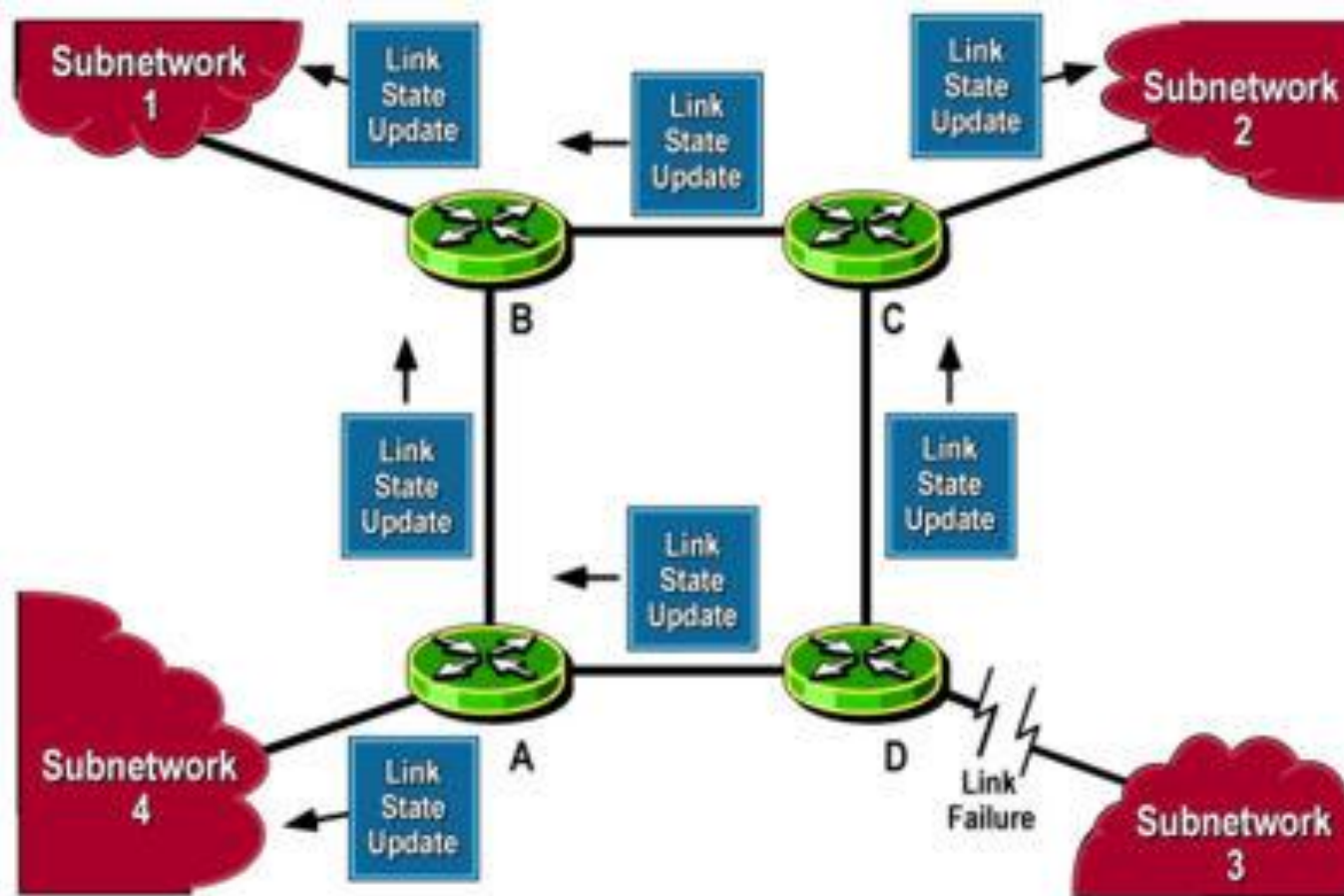
# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

## ■ LINK STATE

- Fácil de prever loops pois cria as rotas de maneira centralizada
- Necessita um controle de flooding muito rígido
- Pode falhar no descobrimento correto da topologia se a rede for dividida ao meio e posteriormente reconectada
- Cenário comum em redes ad-hoc

# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

## LINK STATE





# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

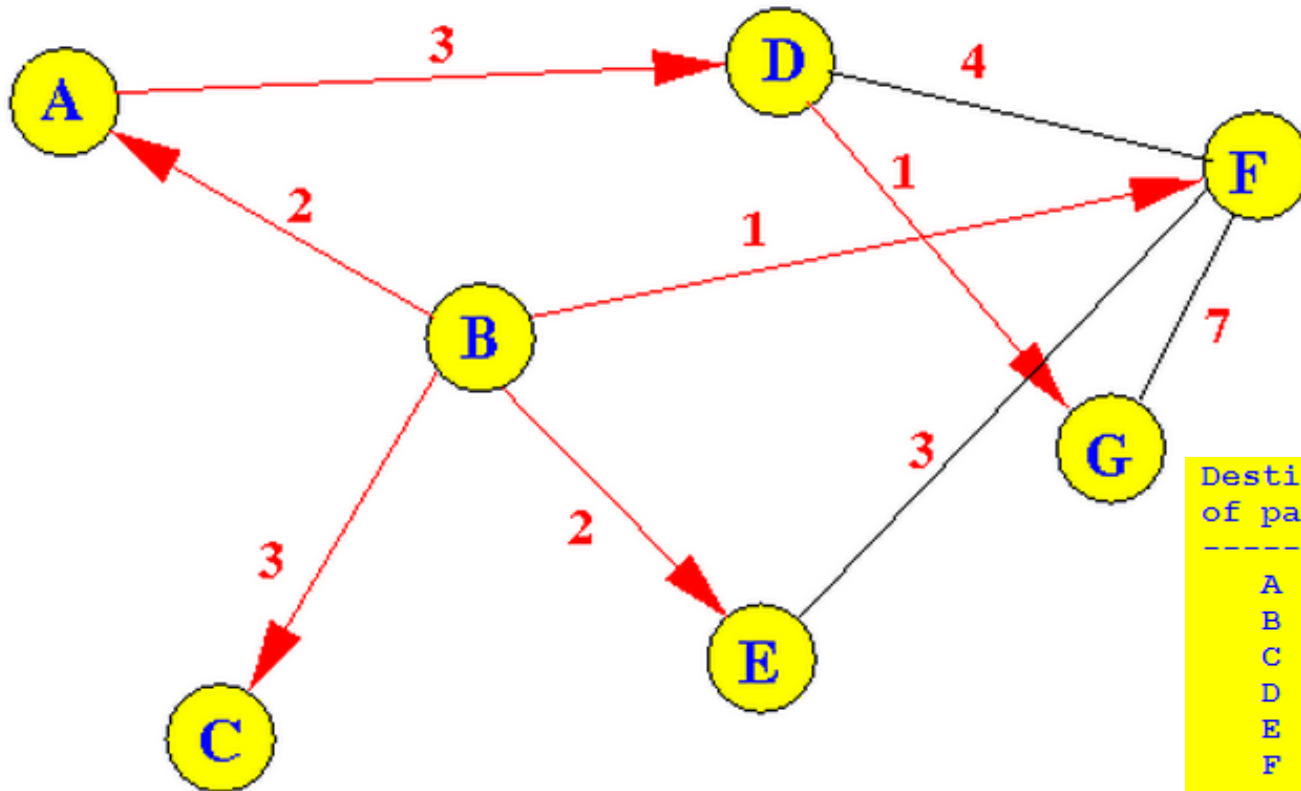
## ■ DISTANCE VECTOR OU DISTRIBUTED BELLMAN-FORD (DBF)

- Mantém uma tabela com o menor caminho até todos os outros nós
- Tabela é atualizada periodicamente com as informações vinda dos vizinhos
- Cada tabela recebida, compara com a que tem, se alguma rota for menor, atualiza sua tabela e armazena de onde veio a informação

# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

## ■ DISTANCE VECTOR

*Shortest paths from B to all other nodes*



Destination of packet	Send the packet to
A	A
B	-
C	C
D	A
E	E
F	F
G	A

# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

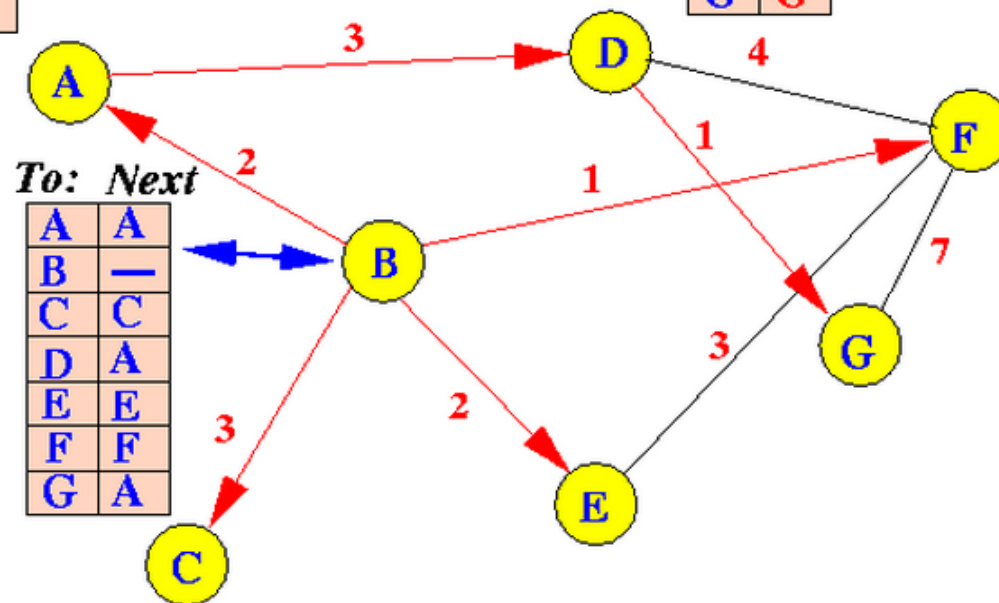
## DISTANCE VECTOR

To: Next

A	—
B	B
C	B
D	D
E	B
F	D
G	D

To: Next

A	A
B	A
C	A
D	—
E	A
F	F
G	G

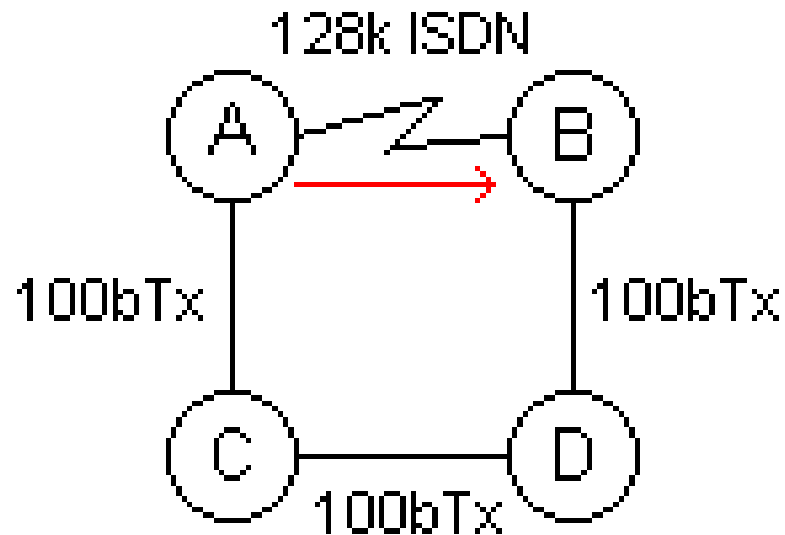


# ABORDAGEM AO PROBLEMA DO ROTEAMENTO

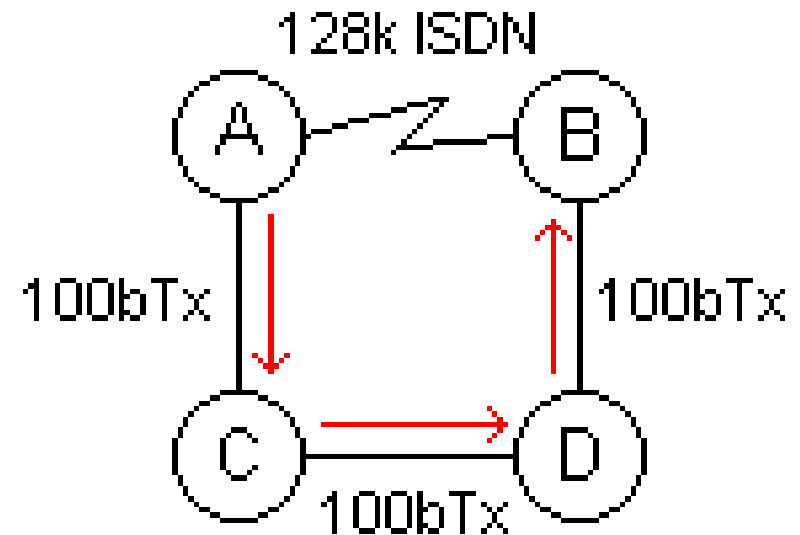
- **DISTANCE VECTOR OU DISTRIBUTED BELLMAN-FORD (DBF)**
  - Simples e eficiente
  - Apresenta uma baixa convergência quando a topologia muda muito
  - Tendência a criar loops, principalmente em condições não estáveis, alteração constante de topologia, como é o caso em redes ad-hoc

# LINK STATE x DISTANCE VECTOR

## Distance Vector



## Link State





# Redes Ad Hoc

Protocolos de Roteamento

# ALGORITMOS ROTEAMENTO PARA REDES AD HOC

## ■ Pró-Ativos

- Fisheye State Routing (FSR)
- Fuzzy Sighted Link State (FSLs)
- Optimized Link State Routing (OLSR)
- Topology Broadcast Base with Reverse Path Forwarding (TBRPF)
- Destination Sequence Distance Vector (DSDV)
- Global State Routing (GSR)

## ■ Reativos

- Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing (AODV)
- Dynamic Source Routing in Ad Hoc Networks (DSR)

## ■ Hierárquico

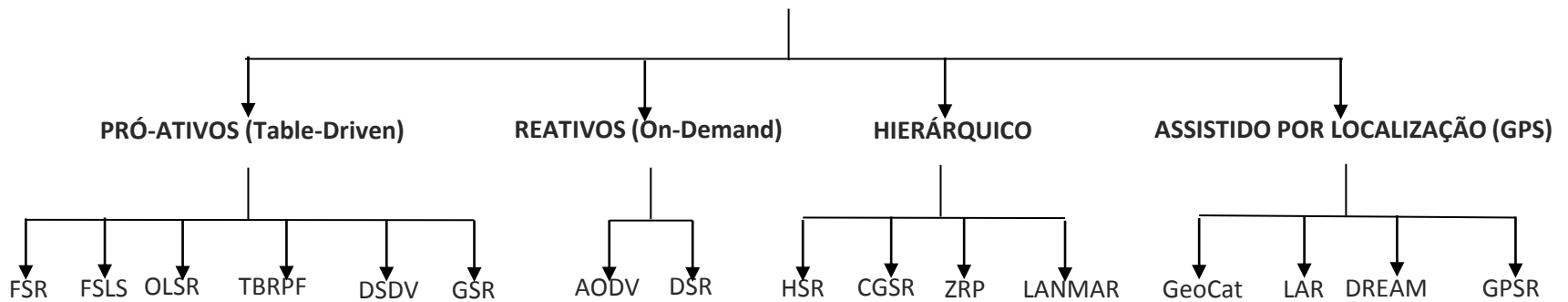
- Hierarchical State Routing (HSR)
- Clusterhead Gateway Switch Routing (CGSR)
- Zone Routing Protocol (ZRP)
- Landmark Ad hoc Routing (LANMAR)

## ■ Assistido por Localização

- Geographic Addressing and Routing (GeoCast)
- Location-Aided Routing (LAR)
- Distance Routing Effect Algorithm for Mobility (DREAM)
- Greedy Perimeter Stateless Routing (GPSR)

# [ ROTEAMENTO ]

## PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO AD HOC



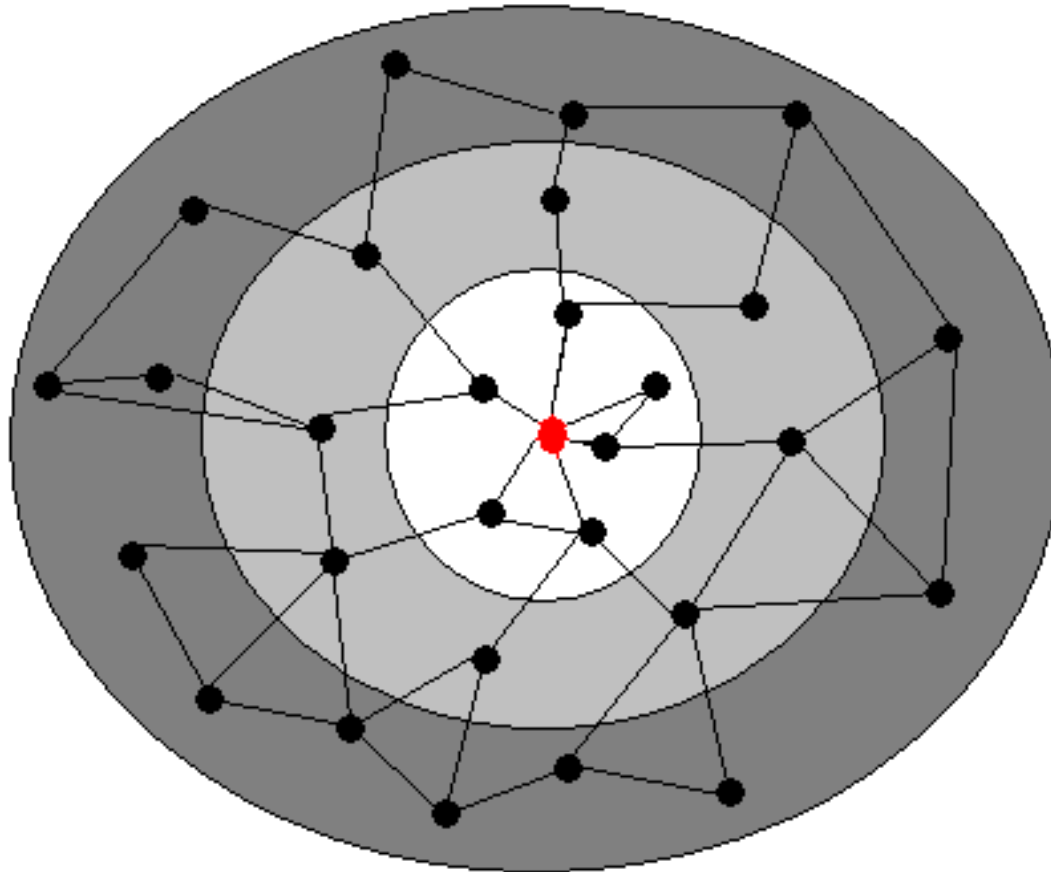


# Fisheye State Routing (FSR)

- Protocolo Olho de Peixe
- Protocolo de roteamento simples e eficiente tipo Estado de Enlace ou LS (Link State)
- Cada nó mantém um mapa da topologia da rede em cada nó e propaga as atualizações dos estados dos enlaces
- Permite associar “custos” aos caminhos, que são calculados de acordo com atributos do tipo: capacidade do enlace, congestionamento etc.

# Fisheye State Routing (FSR)

- Ideia principal é a "qualidade" info decai → mais distante
- Quanto mais perto, mais informações são repassadas



# Fuzzy Sighted Link State (FSLS)

- Semelhante ao FSR
- Inclui um algoritmo ótimo denominado Estado de Enlace de Alcance Nebuloso (HSLS – Hazy Sighted Link State)
- Implementa um método algébrico de determinação dos tempos de disparo das inundações de LSI (Link State Information) a cada intervalo de  $2^k * T$  para um escopo de  $2^k$ , onde  $k$  é a distância máxima em saltos na rede e  $T$  é o período mínimo de transmissão de LSI

# Optimized Link State Routing (OLSR)

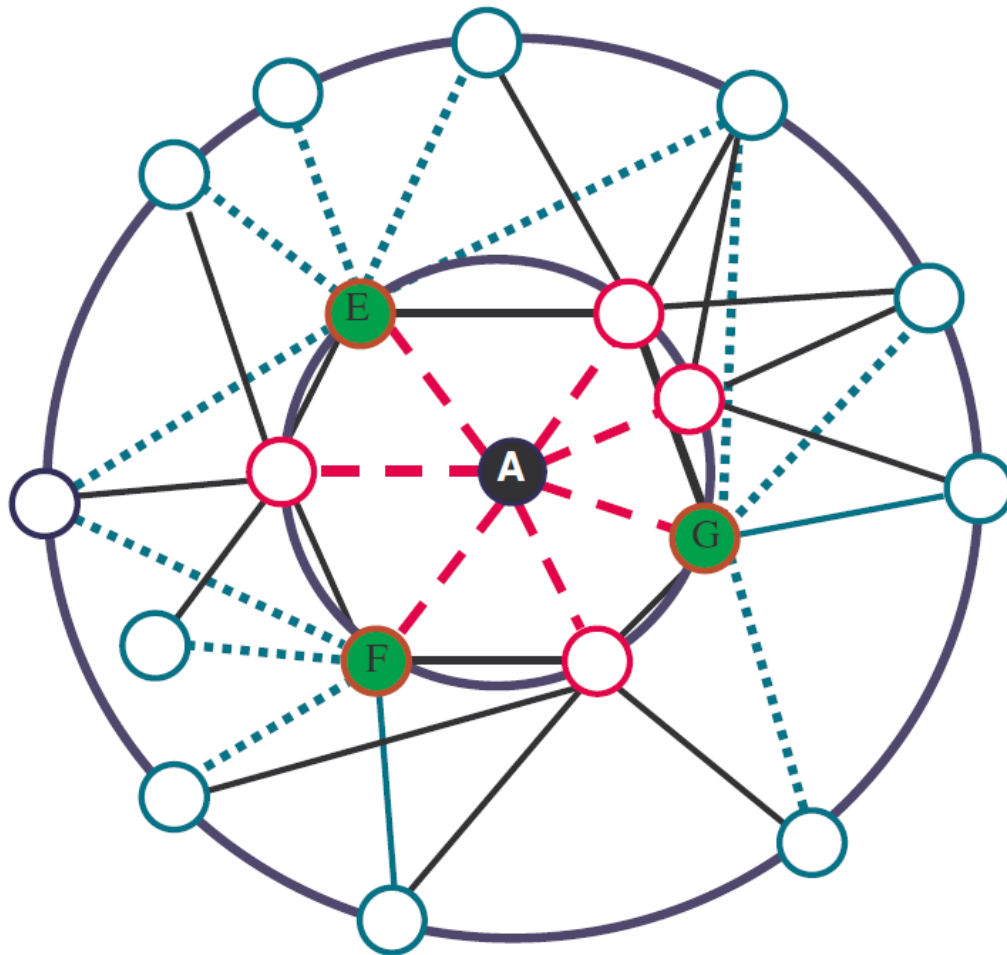
- Projetado para redes móveis e sem fio
- Utiliza inundação para sincronizar as bases de dados
- Implementa o algoritmo de caminho mínimo
- Utiliza mensagens HELLO para verificar atividade de links
- Suporte a inclusão de novas funcionalidades







# Optimized Link State Routing (OLSR)

## ■ Multipoint Relays (MPRs)

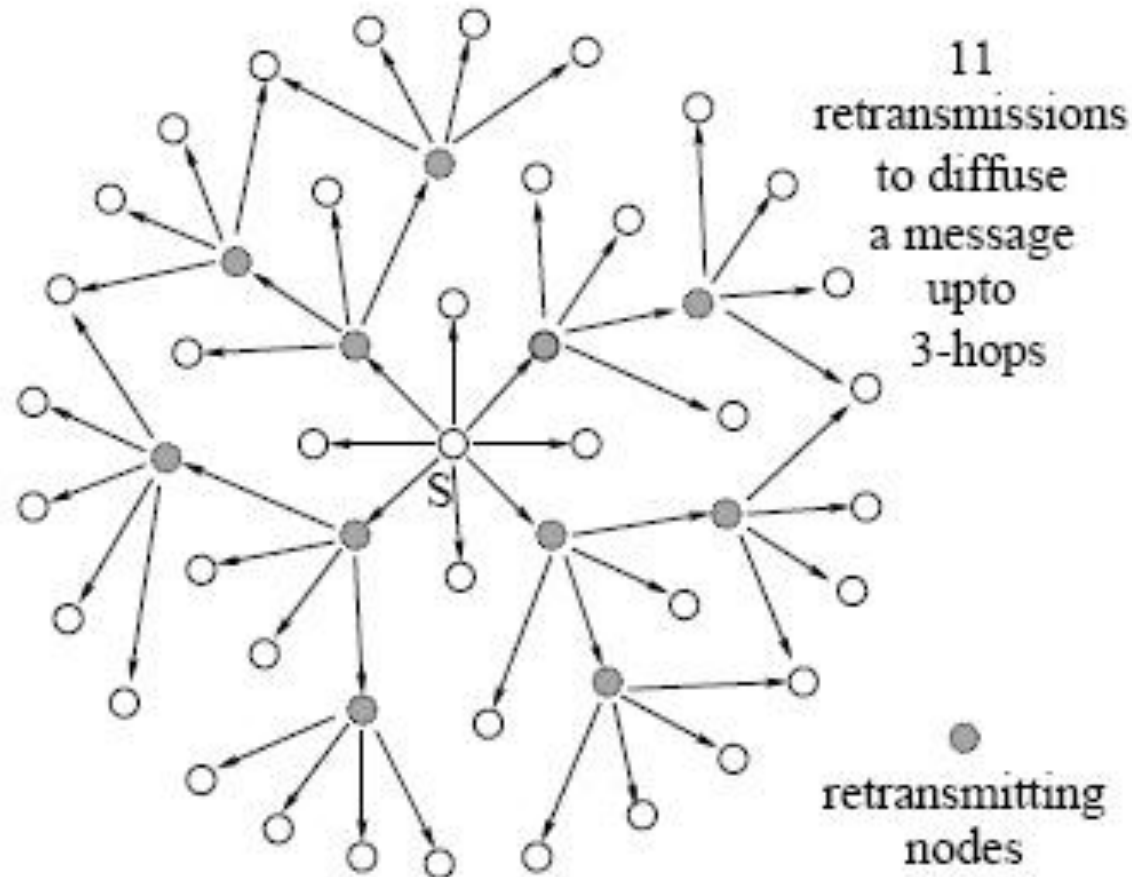
- Nós selecionados que ficarão encarregados de fazer a inundação
- Objetivo é minimizar o overhead da inundação na rede, reduzindo mensagens redundantes
- Cada nó deve montar um conjunto de seus MPRs e, sempre que uma atualização chegar, este deve enviar apenas para seus vizinhos selecionados

# Optimized Link State Routing (OLSR)



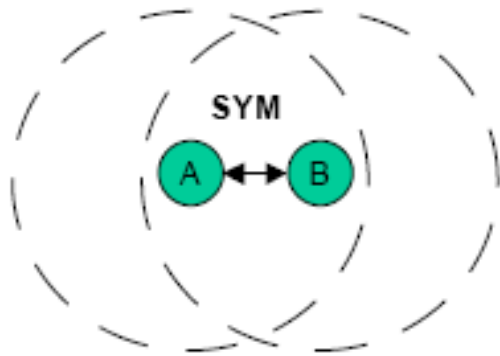
-  Vizinhos do nó
-  Os nós E, F e G são MPR de A.
-  Vizinhos de dois saltos de A.
-  Enlaces sem fio.
-  Enlaces conectando nós MPR e os Nós de dois saltos cobertos por eles
-  Enlaces conectando A e seus vizinhos.

# Optimized Link State Routing (OLSR)

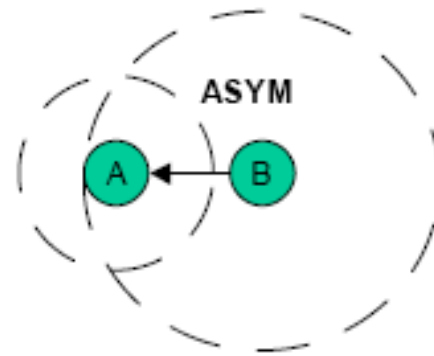


# Optimized Link State Routing (OLSR)

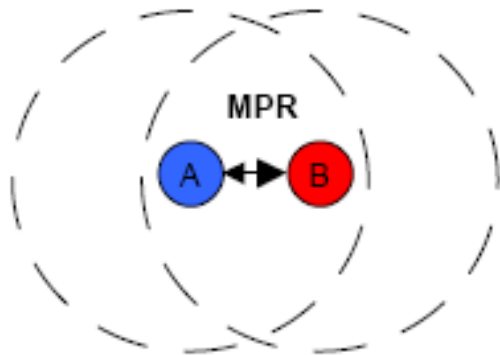
## ■ Estados dos enlaces



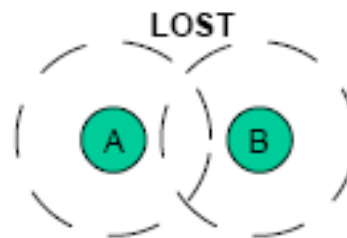
Enlace **simétrico**:  
A escuta B  
B escuta A



Enlace **assimétrico**:  
A escuta B  
B não escuta A



Enlace **MPR** :  
B é um *relay* para A

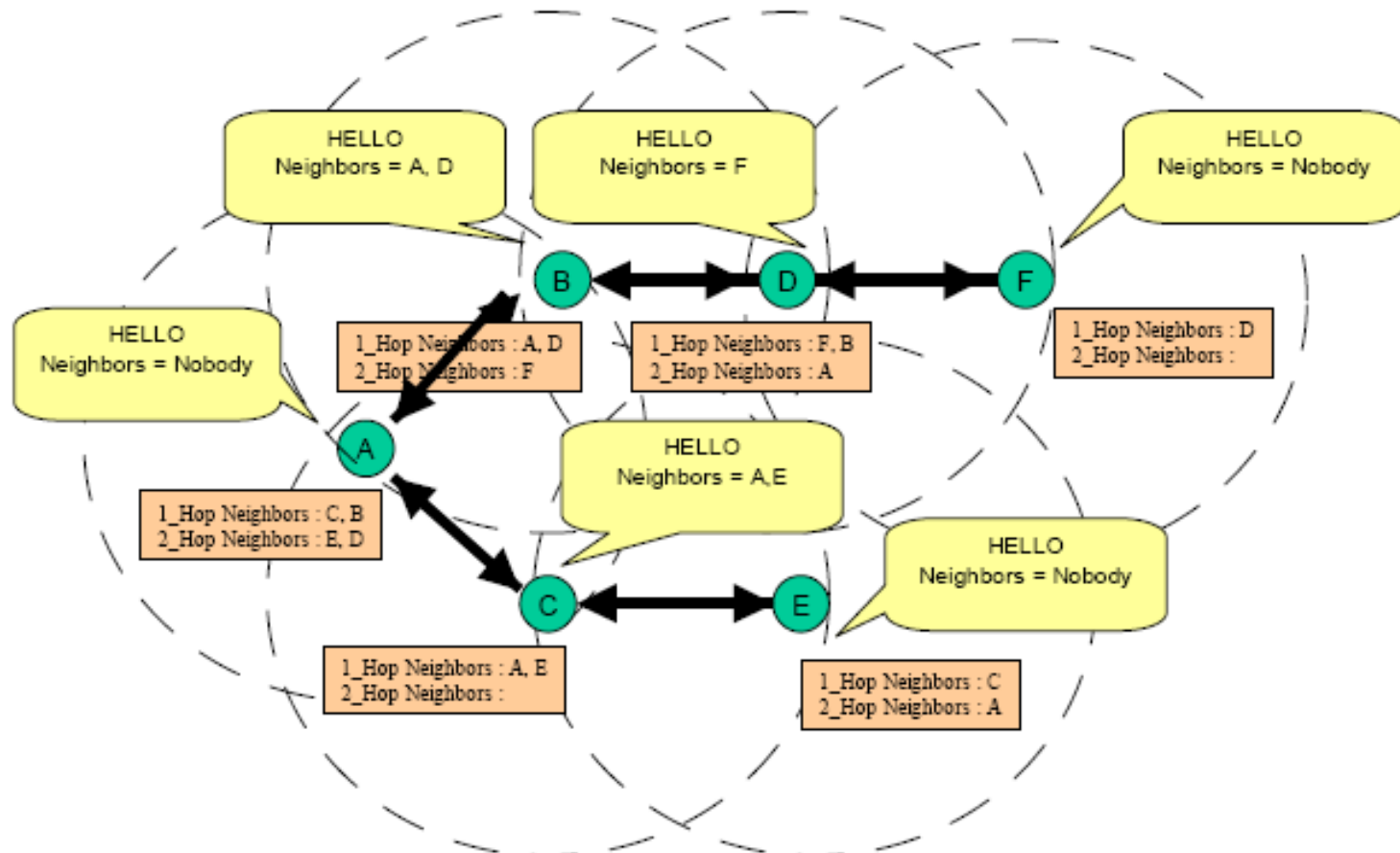


Enlace **perdido**:  
A e B estão  
fora de portadora



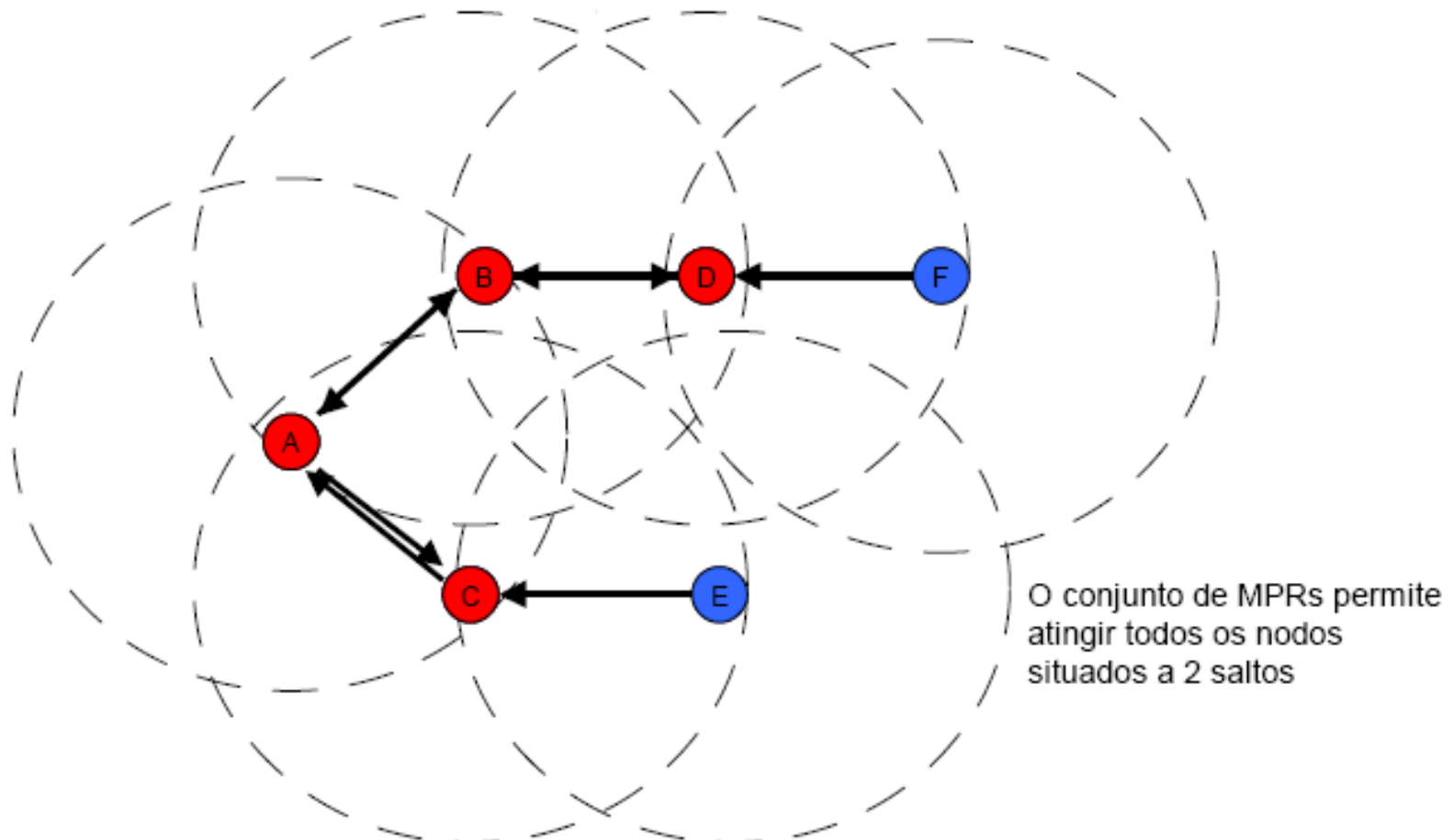
# Optimized Link State Routing (OLSR)

- Descoberta da vizinhança



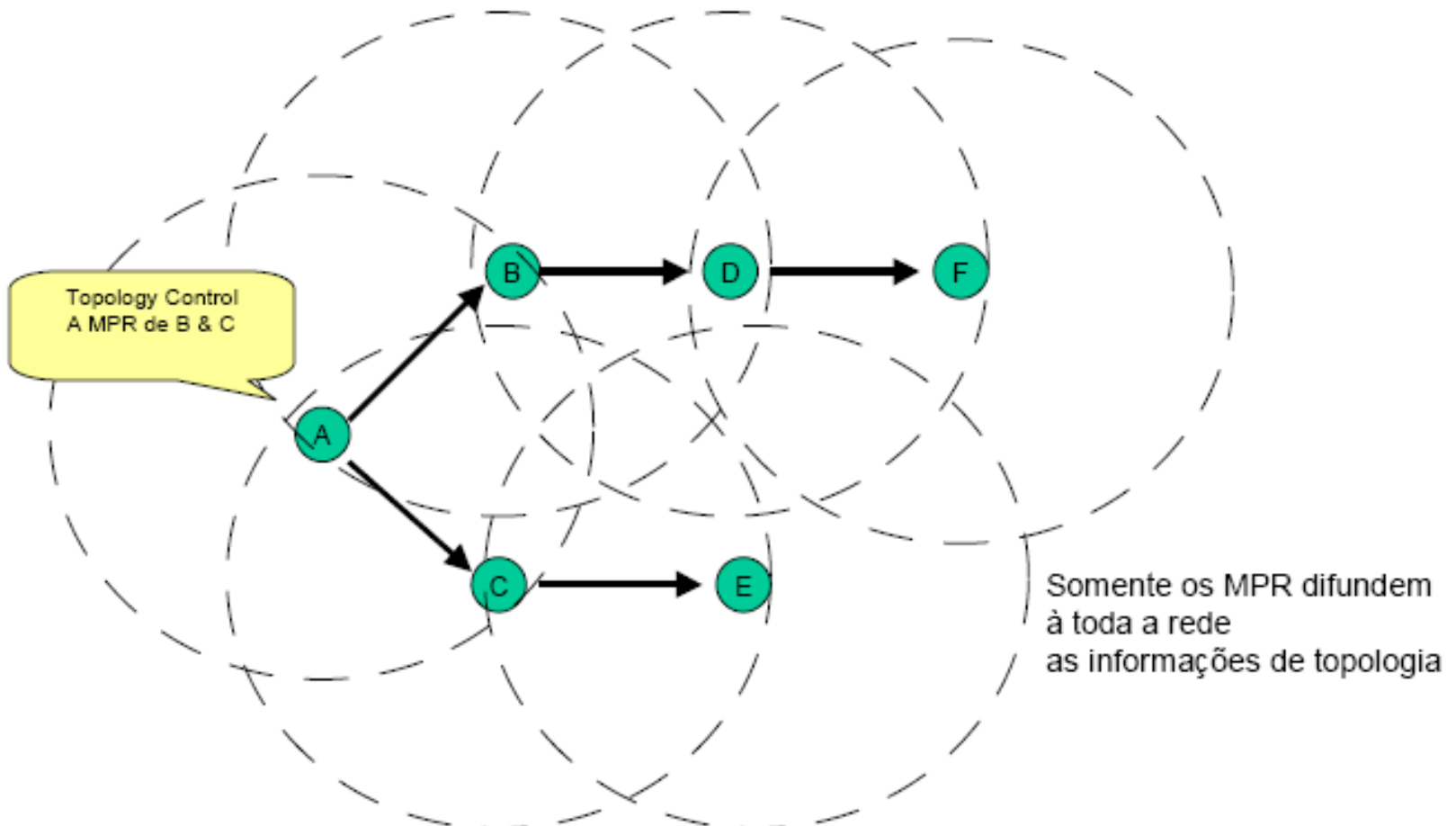
# Optimized Link State Routing (OLSR)

- Eleição de MPR



# Optimized Link State Routing (OLSR)

- Difusão da Topologia



## Topology Broadcast Base with Reverse Path Forwarding (TBRPF)

- Protocolo de roteamento pró-ativo para MANETs
- Link-state protocol
- Provê roteamento hop-by-hop pelo menor caminho
- Cada nó armazena informações sobre a árvore fonte em sua tabela → nós que pode alcançar / sua métrica

# Topology Broadcast Base with Reverse Path Forwarding (TBRPF)

- A atualização é combinada em diferencial e periódica
  - Diferencial: somente alteração link-state
  - Periódica: informações completas de todos os vizinhos
- Composto por dois módulos:
  - Descoberta
    - Denominado TND (*T Neighbor Discovery*)
    - Envio de mensagens HELLO “diferenciais”
  - Roteamento

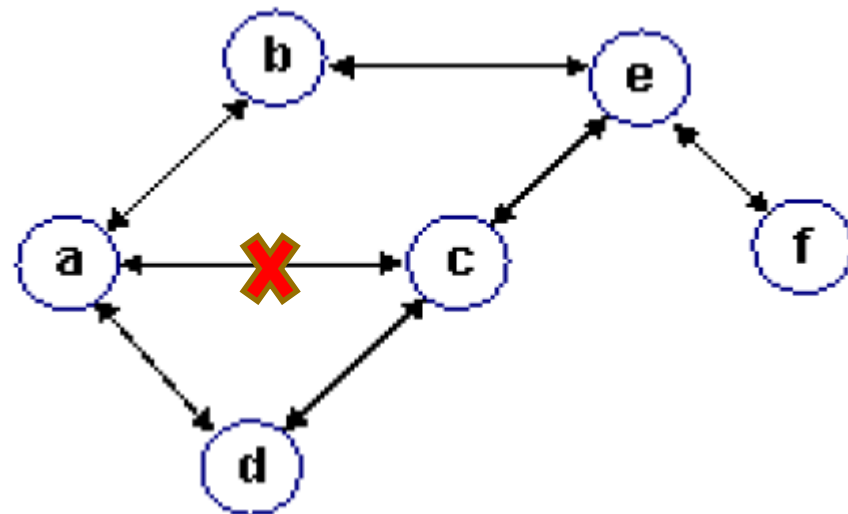
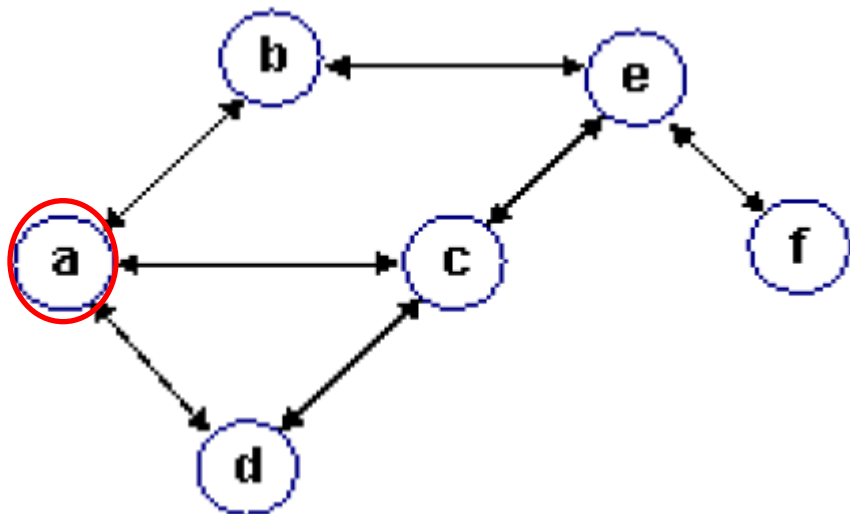
# Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)

- Protocolo Pró-ativo
- Mantém tabela de roteamento com todas as rotas contendo a quantidade de saltos até destino
- Tabela é partilhada com os vizinhos por *broadcast*

# Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)

- Estação que recebe informação compara com sua e atualiza se for o caso
- As entradas na tabela são identificadas através campo chamado ***destination sequence number(DSN)*** informado pelo destino durante processo de descoberta
- DSN possibilita diferenciar informações novas das antigas durante processo de atualização

# Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)



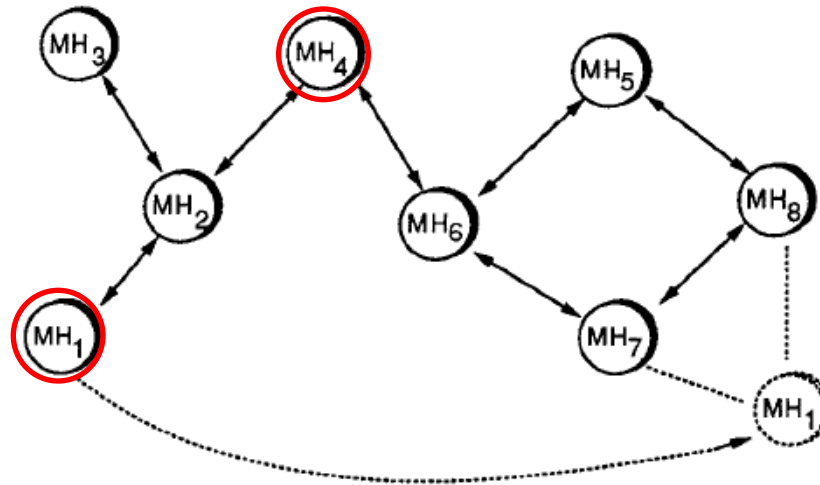
Destino	Próximo	Custo	Nº Seq.
a	a	0	410
b	b	1	250
c	c	1	300
d	d	1	115
e	c	2	380
f	c	3	170



Destino	Próximo	Custo	Nº Seq.
a	a	0	430
b	b	1	253
c	d	2	323
d	d	1	132
e	b	2	385
f	b	3	187



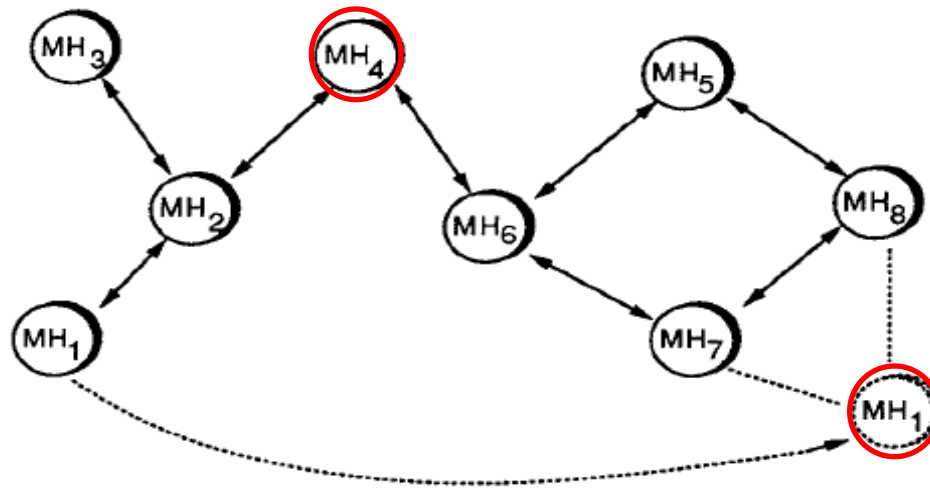
# Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)



Destination	NextHop	Metric	Sequence number	Install	Flags	Stable_data
<i>MH<sub>1</sub></i>	<i>MH<sub>2</sub></i>	2	S406_ <i>MH<sub>1</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>1</sub></i>
<i>MH<sub>2</sub></i>	<i>MH<sub>2</sub></i>	1	S128_ <i>MH<sub>2</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>2</sub></i>
<i>MH<sub>3</sub></i>	<i>MH<sub>2</sub></i>	2	S564_ <i>MH<sub>3</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>3</sub></i>
<i>MH<sub>4</sub></i>	<i>MH<sub>4</sub></i>	0	S710_ <i>MH<sub>4</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>4</sub></i>
<i>MH<sub>5</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	2	S392_ <i>MH<sub>5</sub></i>	T002_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>5</sub></i>
<i>MH<sub>6</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	1	S076_ <i>MH<sub>6</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>6</sub></i>
<i>MH<sub>7</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	2	S128_ <i>MH<sub>7</sub></i>	T002_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>7</sub></i>
<i>MH<sub>8</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	3	S050_ <i>MH<sub>8</sub></i>	T002_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>8</sub></i>

Structure of the *MH<sub>4</sub>* forwarding table

# Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)



Destination	NextHop	Metric	Sequence number	Install	Flags	Stable_data
<i>MH<sub>1</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	3	S516_ <i>MH<sub>1</sub></i>	T810_ <i>MH<sub>4</sub></i>	M	Ptr1_ <i>MH<sub>1</sub></i>
<i>MH<sub>2</sub></i>	<i>MH<sub>2</sub></i>	1	S238_ <i>MH<sub>2</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>2</sub></i>
<i>MH<sub>3</sub></i>	<i>MH<sub>2</sub></i>	2	S674_ <i>MH<sub>3</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>3</sub></i>
<i>MH<sub>4</sub></i>	<i>MH<sub>4</sub></i>	0	S820_ <i>MH<sub>4</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>4</sub></i>
<i>MH<sub>5</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	2	S502_ <i>MH<sub>5</sub></i>	T002_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>5</sub></i>
<i>MH<sub>6</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	1	S186_ <i>MH<sub>6</sub></i>	T001_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>6</sub></i>
<i>MH<sub>7</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	2	S238_ <i>MH<sub>7</sub></i>	T002_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>7</sub></i>
<i>MH<sub>8</sub></i>	<i>MH<sub>6</sub></i>	3	S160_ <i>MH<sub>8</sub></i>	T002_ <i>MH<sub>4</sub></i>		Ptr1_ <i>MH<sub>8</sub></i>

*MH<sub>4</sub>* forwarding table (updated)

# Destination Sequenced Distance Vector (DSDV)

- Quando determinado enlace se desfaz, a estação que percebe essa mudança altera a entrada na sua tabela para essa rota
- Indica no campo *Metric* valor igual ao maior valor possível
- Altera o *destination sequence number*
- Único caso onde alteração é feita por uma estação e não o destino
- Alteração é imediatamente propagada pela rede

# Atualização das Tabelas Roteamento

- Vetor de Distâncias - Distance-Vector (DV)
- Calcula caminho de menor custo
- Modo iterativo e distribuído
- Nenhum nó tem informação completa sobre os custos de todos os enlaces
- Formação da tabela:
  - Cada nó identifica os custos dos nós vizinhos
  - Gradualmente, distribui os resultados aos vizinhos

# Atualização das Tabelas

Tabela do Nó X

	X	Y	Z
X	0	2	7
Y	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Z	$\infty$	$\infty$	$\infty$

	X	Y	Z
X	0	2	3
Y	2	0	1
Z	7	1	0

	X	Y	Z
X	0	2	3
Y	2	0	1
Z	3	1	0

Tabela do Nó Y

	X	Y	Z
X	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Y	2	0	1
Z	$\infty$	$\infty$	$\infty$

	X	Y	Z
X	0	2	7
Y	2	0	1
Z	7	1	0

	X	Y	Z
X	0	2	3
Y	2	0	1
Z	3	1	0

Tabela do Nó Z

	X	Y	Z
X	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Y	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Z	7	1	0

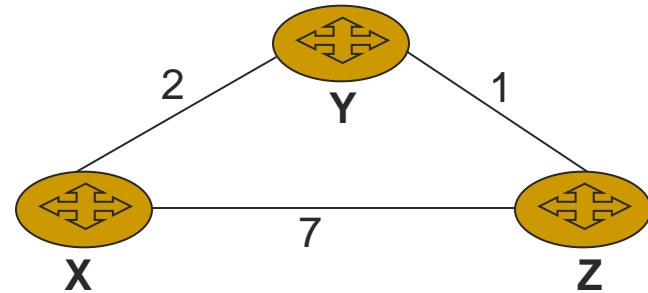
	X	Y	Z
X	0	2	7
Y	2	0	1
Z	3	1	0

	X	Y	Z
X	0	2	3
Y	2	0	1
Z	3	1	0

$t_0$

$t_1$

$t_2$



Z  $\rightarrow$  X possui menor caminho  
que original  
Atualiza Tabela  
Replica atualização

Tempo

# Atualização das Tabelas

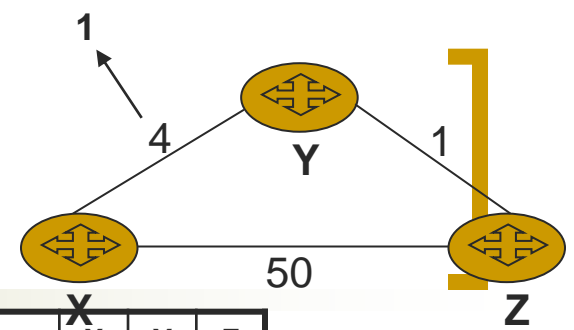


Tabela do Nó X

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Z	$\infty$	$\infty$	$\infty$

Tabela do Nó Y

	X	Y	Z
X	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Y	4	0	1
Z	$\infty$	$\infty$	$\infty$

Tabela do Nó Z

	X	Y	Z
X	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Y	$\infty$	$\infty$	$\infty$
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

1. Entre X e Z possui menor Caminho

2. Alteração estado link entre X e Y

$t_0$

$t_1$

$t_2$

$t_3$

$t_4$

Tempo

# Atualização das Tabelas

Tabela do Nó X

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	1	0	1
Z	2	1	0

Tabela do Nó Y

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	1	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	1	0	1
Z	2	1	0

Tabela do Nó Z

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	4	5
Y	4	0	1
Z	5	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	4	0	1
Z	2	1	0

	X	Y	Z
X	0	1	2
Y	1	0	1
Z	2	1	0

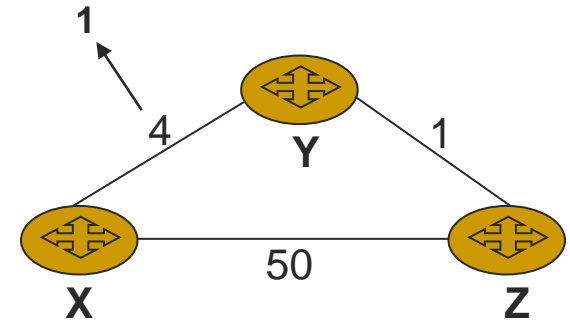
$t_3$

$t_4$

$t_5$

$t_6$

Tempo



# Referências

- KUROSE, James F. Redes de Computadores e a Internet: uma abordagem top-down. 3. Ed. São Paulo: Pearson Addison Wesley, 2006.
- [http://pt.wikipedia.org/wiki/Ad\\_hoc](http://pt.wikipedia.org/wiki/Ad_hoc) acesso em 28/08/2008
- CÂMARA, Daniel  
<http://homepages.dcc.ufmg.br/~danielc/redes/roteamento.html>  
acesso em 28/08/2008
- GOLDMAN, Alfredo. Redes Móveis Ad Hoc. Minicurso SBRC, 2002.
- <http://www.ietf.org/rfc/rfc3626.txt> acesso em 28/08/2008
- <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt> acesso em 28/08/2008
- <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt> acesso em 28/08/2008
- BEIJAR, Nicklas. Zone Routing Protocol.  
<http://www.netlab.tkk.fi/opetus/s38030/k02/Papers/08-Nicklas.pdf>  
acesso em 28/08/2008.
- <http://www.gta.ufrj.br/ensino/CPE825/2006/resumos/OLSR.ppt>



# Referências

- LIMA, Claudinei Quaresma. Rotas Hierárquicas e Segurança em Redes Ad Hoc. Tese de Mestrado. ITA: São José dos Campos, 2006.
- ALBINI, Luiz C. P. etc. al. Segurança em Redes Ad Hoc. Proposta de Minicurso para SBrT2008.  
[http://www.sbrt.org.br/sbrt08/docs/LuizAlbini\\_Seguranca.pdf](http://www.sbrt.org.br/sbrt08/docs/LuizAlbini_Seguranca.pdf)
- FRANCESQUINI, Emilio de Camargo. Detecção de Intrusos em MANETs. <http://grenoble.ime.usp.br/movel/detecao.ppt>
- <http://www.cs.virginia.edu/~cl7v/cs851-papers/dsdv-sigcomm94.pdf>
- <http://www.gta.ufrj.br/~rezende/cursos/eel879/trabalhos/aodv/indice.html>
- PUTTINI, Ricardo Staciarini. Redes Móveis Ad Hoc. UNB.
- REZENDE, Nelson Soares de. **Redes Noveis sem Fio Ad Hoc**. UFRJ: Rio de Janeiro, 2004.