

**João Paulo Pizani Flor**

***Redes sem fio ad-hoc: Os desafios impostos pelos  
atuais protocolos***

24 de novembro de 2008

**João Paulo Pizani Flor**

***Redes sem fio ad-hoc: Os desafios impostos pelos  
atuais protocolos***

Escrito como parte da disciplina INE5414 - Redes de Computadores I

Professor: Carlos Becker Westphall

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE INFORMÁTICA E ESTATÍSTICA

24 de novembro de 2008

# *Sumário*

**Abstract**

**Resumo**

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	p. 5
<b>2</b>	<b>Trabalhos correlatos</b>	p. 7
<b>3</b>	<b>Conceitos fundamentais</b>	p. 8
3.1	Redes sem fio infra-estruturadas . . . . .	p. 8
3.2	Redes sem fio relay . . . . .	p. 9
3.3	Redes sem fio em malha . . . . .	p. 9
<b>4</b>	<b>Características desafiadoras das redes ad-hoc</b>	p. 11
4.1	Projeto da sub-camada MAC - Medium Access Control . . . . .	p. 11
4.1.1	Dispositivo escondido . . . . .	p. 11
4.1.2	Dispositivo exposto . . . . .	p. 11
4.2	Efeitos inter-camada da seleção de caminho . . . . .	p. 12
4.3	Segurança . . . . .	p. 12
<b>5</b>	<b>Conclusões</b>	p. 14
	<b>Referências Bibliográficas</b>	p. 15

# *Abstract*

In this paper we examine, conceptually, ad-hoc wireless networks. Our goal is to identify the main characteristics in these technologies that put them apart from wired networks and also from the usual *infrastructured* wireless networks. We analyze which are the impacts of these differences in the design of the protocol stack.

This paper is a survey, and as such several proposed solutions will be presented to each challenge identified, in each protocol layer. The solutions presented here were proposed by state-of-the-art researchers worldwide, and internationally recognized.

# *Resumo*

Neste artigo examinamos de forma conceitual as redes sem fio ad-hoc. Nosso objetivo é o de identificar as principais características dessas tecnologias que as tornam bastante diferentes das redes cabeadas e também das redes sem fio *infra estruturadas*. Nós analisamos quais são os impactos dessas diferenças na pilha de protocolos.

O artigo tem a forma de um *survey*, e nós apresentamos várias soluções propostas para cada desafio, em cada camada de protocolos. As soluções apresentadas são propostas por pesquisadores do estado da arte na área, e internacionalmente reconhecidos.

# 1 *Introdução*

A tecnologia de redes de computadores sem fio certamente contribuiu muito para a ubiquidade da conexão à internet. O preço do hardware de rede sem fio vem decaindo constantemente, devido à miniaturização dos componentes de fabricação e da melhoria nas técnicas de design de sistemas digitais. As taxas de transferência proporcionadas pelas tecnologias sem fio também aumentaram bastante, devido à melhorias na camada física (espectro eletromagnético) e de enlace de dados (correção de erros e alocação de canal).

Essas melhorias na tecnologia de conexão *wireless* não atingiram ainda um ponto fundamental [2]: o aumento da área de cobertura do serviço e a maior mobilidade dos dispositivos conectados. Os avanços conseguidos até agora nas taxas de transferência se devem ao aumento da potência de transmissão e ao uso de maiores bandas de frequência. Isto não colabora para aumentar a taxa de sinal/ruído, e assim não aumenta a área coberta pelas redes de computadores sem fio.

Para "resolver" esse problema já existem tecnologias disponíveis, como as redes celulares 3G e as redes WiMAX. Essas tecnologias têm, porém, alto custo, e levarão ainda um bom tempo até se popularizarem tanto quanto as do padrão IEEE 802.11. Isto pois ambas utilizam bandas de frequência regulamentadas pelas agências nacionais, e o hardware de acesso às redes 3G e WiMAX ainda está caro.

Nesse contexto, as redes Wi-fi ad-hoc são ótimas alternativas para oferecer conectividade ubíqua e móvel por baixo custo, utilizando os padrões já maduros e consolidados da família IEEE 802.11. Porém os principais protocolos da pilha Internet não foram projetados com a existência de grandes redes sem fio ad-hoc em mente. Há várias características nos protocolos que levam a um menor desempenho de redes sem fio ad-hoc, quando comparadas a redes cabeadas utilizando os mesmos protocolos.

Primeiramente, iremos fazer uma breve exposição dos três tipos de redes sem fio ad-hoc: Redes em malha (mesh), redes sem fio veiculares e redes de sensores sem fio. Serão apresentados os conceitos fundamentais de cada categoria, seu funcionamento e seus pontos fortes e

fracos.

A seguir iremos identificar alguns desafios que atualmente limitam o uso em larga escala das redes sem fio ad-hoc como meio de conexão de computadores. Iremos expor várias soluções propostas por vários pesquisadores internacionais para enfrentar esses desafios e integrar as redes sem fio ad-hoc com a infra-estrutura de rede existente.

## 2 *Trabalhos correlatos*

Os trabalhos correlatos usados como pesquisa para esse artigo discorrem sobre os problemas encontrados pelas redes sem fio ad-hoc, que as tornam únicas se comparadas com as redes cabeadas e com as redes sem fio em geral. O artigo [2] é um *survey*, que explica as características gerais das redes sem fio ad-hoc, e expõe diversos protocolos e propostas de modificações em protocolos já existentes de enlace e de rede. Essas propostas expostas visam à melhoria das redes ad-hoc principalmente nos quesitos segurança e eficiência de roteamento.

No artigo [1] é feito um estudo experimental sobre a qualidade de conexão obtida em veículos que se deslocam entre várias redes Wi-fi. No estudo se percebe que, mesmo havendo várias redes com boa intensidade de sinal nas proximidades, ocorrem muitas interrupções abruptas na conexão e falhas constantes nas aplicações. Isso pois o padrão tradicional Wi-fi só permite comunicação através de uma estação-base por vez. Para solucionar esse problema, os autores desenvolveram o protocolo *Vi-Fi*. O protocolo Vi-Fi é um protocolo da camada de enlace e permite a o uso de varias estações-base de forma concomitante, com o objetivo de permitir conectividade continua, mesmo em situações em que ha mobilidade.

Já o trabalho [3] apresenta técnicas de controle de topologia em redes sem fio ad-hoc. Essa técnica consiste em se monitorar o grafo que representa as conexões entre os nodos da rede, com o objetivo de manter uma propriedade global desse grafo (por exemplo conexidade). A alteração nessas propriedades do grafo da rede resultam em varias características desejáveis, como robustez (presença de caminhos redundantes), menor consumo de energia e menor interferência entre os emissores dos nodos.

O foco desse artigo sera identificar os maiores problemas que atualmente inibem a adoção em grande escala de redes sem fio ad-hoc; em que camadas da pilha de protocolos OSI e Internet estão localizadas estas questões e reunir as principais propostas de soluções para as mesmas.



## 3 *Conceitos fundamentais*

Nessa seção serão apresentadas os conceitos fundamentais e definições de redes sem fio infra-estruturada, *relay* e em malha; comparando-as entre si e com as redes cabeadas tradicionais. O entendimento dos conceitos apresentados nessa seção é necessário para que se compreenda as discussões posteriores.

### 3.1 **Redes sem fio infra-estruturadas**

As redes sem fio infra-estruturadas são certamente o tipo de rede sem fio mais popular atualmente. Em uma rede sem fio infra-estruturada todos os nodos realizam sua conexão através de um dispositivo centralizado, chamado *Access Point* (daqui em diante chamado AP). Os protocolos de nível físico e de enlace das redes sem fio infra-estruturadas são definidos pela família de protocolos IEEE 802.11.

Os dispositivos clientes enviam e recebem frames somente do AP. O AP também é responsável pelo controle de acesso do canal (*MAC - Medium Access Control*). Devido às características de alcance limitado e de interferência, que são inerentes ao meio eletromagnético, o método de detecção de colisão não pode ser usado como estratégia de alocação de canal em redes sem fio.

Para fazer alocação do canal é utilizado um handshake RTS/CTS (Request to Send/Clear to Send) [4] entre emissor e receptor desejado. Os frames RTS e CTS avisam às outras estações na rede que uma transmissão irá se iniciar e fazem com que as outras estações calem-se, evitando assim interferências prejudiciais à transmissão. A conectividade dinâmica das redes ad-hoc torna ainda mais complicado o controle do canal.

## 3.2 Redes sem fio relay

Em uma rede desse tipo, além do AP central, temos dispositivos chamados *relays*, que operam guiados pelo AP central e fornecem aos clientes da rede os mesmos serviços. Os dispositivos relay podem tanto ser dedicados quanto serem também clientes da rede e portanto gerarem seu próprio tráfego. Todos os dados que trafegam pela rede continuam ainda passando pelo AP, porém agora percorrem um caminho que pode passar por vários *relays*.

Uma rede relay pode conter vários dispositivos de relay, e assim o caminho de um frame do cliente até o AP pode passar por vários deles, porém na prática implementações com dois níveis (somente um relay no caminho) é utilizada.

A grande vantagem em se utilizar dispositivos de relay é que eles diminuem a distância a ser percorrida pelo sinal, e assim aumentam a razão entre sinal e ruído + interferência (*SINR - Signal to Noise plus Interference Ratio*). Desse modo esquemas mais sensíveis (menos tolerantes à ruído) de modulação e correção de erro podem ser utilizados, o que aumenta a largura de banda da rede como um todo [2].

Redes sem fio relay podem ainda operar em um único canal de frequência ou em múltiplos canais. Na operação em único canal tanto o tráfego dos clientes quanto o tráfego de retransmissão ocupam a mesma banda no dispositivo de relay, e assim é necessária multiplexação no tempo. Já com a alternativa de múltiplos canais há uma segregação estática entre o tráfego de clientes e de retransmissão, que podem fluir simultaneamente.

## 3.3 Redes sem fio em malha

Nas redes infra-estruturadas e com relays os dispositivos operam sob a coordenação de uma entidade central. Assim, caso essa entidade falhe, a comunicação entre as estações cessa, mesmo que não haja qualquer problema com as mesmas, e isso é claramente uma desvantagem. Nas redes sem fio em malha (*WMN - Wireless Mesh Network*) não há entidade central para realizar a coordenação da comunicação e o controle do meio.

Em uma WMN cada dispositivo age efetivamente como um roteador<sup>1</sup>, e vários caminhos estão disponíveis para o mesmo destino de um frame. Enquanto em uma rede infra-estruturada ou com relays a topologia lógica da rede é de *estrela*, nas redes sem fio em malha a topologia

---

<sup>1</sup>É importante distinguir o termo *roteador* usado nesse contexto do conceito de roteador que normalmente temos. Os roteadores convencionais trabalham na camada de rede, com pacotes IP. Os dispositivos de uma rede em malha encaminham frames da camada de enlace

é completamente diferente. De fato, a topologia de tais redes é dinâmica, e pode ser alterada mesmo durante a transmissão de dados. O controle da topologia das redes em malha é um assunto complexo, e uma boa introdução pode ser encontrada em [3]

Algumas das vantagens das redes sem fio em malha, quando comparadas às redes sem fio tradicionais são:

**Robustez** Como não há uma entidade central coordenadora, as redes sem fio em malha sobrevivem melhor às falhas em seus nodos

**Cobertura** Cada dispositivo participante da rede contribui para estender a área de alcance da mesma

**Baixo custo** São dispensados os altos custos que seriam necessários para se instalar uma infraestrutura de AP's e relays para conectar a rede sem fio ao backbone cabeado

As características acima citadas fazem com que as redes sem fio em malha possam ser aplicadas nas mais diversas situações. Alguns exemplos são [2]:

- WMNs entre carros trocam informações sobre posicionamento e congestionamento e ajudam a evitar acidentes
- Em cenários militares, como ferramenta de comunicação e de espionagem
- Apoiando os serviços de emergência em desastres onde a infra-estrutura convencional de comunicação (telefones, redes cabeadas) foi destruída
- Escritórios e ambientes empresariais, onde novos nodos podem ser adicionados à rede sem a compra de nenhum novo equipamento

## 4 *Características desafiadoras das redes ad-hoc*

As redes sem fio ad-hoc introduzem várias questões nos protocolos que não existem quando se utilizam redes sem fio convencionais (infra-estruturadas ou com relays). Nas redes convencionais, todos os dispositivos estão todos dentro da distância de recepção do AP. Já nas redes ad-hoc dois dispositivos quaisquer podem ou não estar na área de cobertura do sinal um do outro e mesmo assim devem comunicar-se. A seguir analisaremos algumas das funcionalidades da família 802.11 que se tornam mais complexas nas redes ad-hoc.

### 4.1 **Projeto da sub-camada MAC - Medium Access Control**

O controle de acesso ao meio nas redes sem fio ad-hoc é bastante dificultado pelo fato fundamental de que nem todas as estações conhecem umas às outras. O problema da estação escondida e da estação exposta tornam-se cruciais [2]. Assim, os mecanismos de coordenação de acesso ao canal precisam levar em conta essa grande fonte potencial de interferência.

#### 4.1.1 **Dispositivo escondido**

Do inglês "hidden device", de acordo com [2], um *dispositivo escondido* em uma WMN é um dispositivo cujas transmissões não podem ser detectadas por um segundo dispositivo usando detecção de portadora (*Carrier sense*), porém suas transmissões interferem na conversa entre estações terceiras.

#### 4.1.2 **Dispositivo exposto**

Um dispositivo é chamado *exposto* (do inglês *exposed device*), se devido ao protocolo, ou às características momentâneas do meio de transmissão, ele crê que não está permitido a transmitir. Assim, ele se abstém da utilização do canal, mesmo que a transmissão simultânea a

uma outra seja possível. Pelo fato de que um dispositivo exposto não causa problemas aos outros participantes da rede, a maior parte dos padrões da família wireless não levam essa questão em conta no seu projeto.

Ambos os problemas citados anteriormente são criados pelo cenário em malha, e o problema do dispositivo exposto cresce substancialmente em redes mais densas. Em redes sem fio em malha com uma largura de banda baixa, a existência na rede de muitos dispositivos expostos num dado momento pode causar um grande desperdício de capacidade do canal.

Ao contrário das redes cabeadas Ethernet, o meio físico eletromagnético tem um grande nível de localidade, e o paralelismo entre transmissões pode ser uma boa fonte de melhor utilização do canal. Infelizmente, nas redes infra-estruturadas essa capacidade é subutilizada.

## 4.2 Efeitos inter-camada da seleção de caminho

Nas redes sem fio em malha os frames que transitam entre emissor e receptor percorrem um caminho passando por vários nodos da rede até chegar em seu destino final. Como não há nenhuma entidade central coordenadora (por ex. AP), a tarefa de escolher a melhor rota (seqüência de nodos percorrido) é distribuída entre todos os nodos participantes da rede.

De fato essa tarefa corresponde a um roteamento, porém esse roteamento ocorre na camada de enlace. Daqui em diante usaremos o termo *seleção de rota* para distinguí-lo do roteamento tradicional feito nos protocolos de rede. A eficácia desses algoritmos de seleção de rota implementados na camada MAC é severamente limitada, pois o protocolo da camada superior não tem nenhuma noção da topologia da rede e das condições do rádio, etc. De fato, o protocolo de rede envia seus pacotes cegamente, desconhecendo informações que melhorariam muito a performance da rede.

Talvez seja esse um bom exemplo de como nem sempre o modelo de referência OSI se aplica com sucesso. Quando se trata de redes sem fio em malha, parece que há uma separação artificial demais entre as camadas de enlace de dados e de rede; o que provoca a ocultação de dados que seriam importantes para a tomada de decisões da camada superior.

## 4.3 Segurança

Quando se fala em tecnologia da informação, o termo *Segurança* abrange pelo menos três aspectos:

**Confidencialidade** A mensagem só pode ser decodificada pelo receptor autorizado

**Integridade** A mensagem não é alterada durante o caminho entre emissor e receptor

**Disponibilidade** A rede é capaz de prover o serviço necessário à comunicação entre as partes

No que diz respeito às redes sem fio em malha, e levando em conta a sua topologia específica, necessidades até então ignoradas nas redes infra-estruturadas surgem. Devido ao fato de que diferentes dispositivos (os clientes) utilizam um recurso comum (o canal de transmissão) para prover vários serviços, diferentes níveis de segurança podem ser observados. Ao menos os seguintes aspectos adicionais podem devem ser considerados:

- Autenticação de dispositivos na malha

- Acesso pleno com permissão para encaminhar frames alheios

- Acesso parcial, com a possibilidade de se registrar com múltiplos vizinhos

- Acesso restrito, se conectando a apenas um dispositivo vizinho

- Acesso negado por completo

- Participação na seleção de rota

- Geração e propagação de meta-informação de seleção de rota

- Somente recepção de meta-informação de seleção de rota

## 5 *Conclusões*

As redes sem fio, mesmo infra-estruturadas, já adicionam uma grande complexidade ao funcionamento dos protocolos atuais, tanto da pilha TCP/IP quanto do modelo de referência OSI. Alterações substanciais tiveram de ser realizadas na implementação do protocolo de enlace, em relação à Ethernet, para acomodar as características únicas do meio eletromagnético.

Maiores ainda são os desafios impostos ao projetos dos protocolos quando se trata de redes sem fio ad-hoc. Além de requerer grandes mudanças nos padrões tradicionalmente usados na implementação de várias camadas da pilha de protocolos, as redes ad-hoc ainda expõem as fraquezas das separações entre as camadas da pilha OSI e TCP/IP. Algumas dessas interfaces tornam-se demasiadamente artificiais, e fazem com que, para que o padrão seja seguido, grande performance da rede seja perdida.

A redação do presente artigo e a pesquisa necessária para tal permitiu a solidificação de todos os conhecimentos adquiridos em sala de aula durante o semestre. Tal pesquisa deu ainda uma perspectiva de estado da arte sobre redes de computadores, demonstrando que o conhecimento sobre os protocolos, sobre o papel de cada camada e a relação entre as mesmas é extremamente importante para compreender os desenvolvimentos tecnológicos em redes de computadores na atualidade.

## *Referências Bibliográficas*

- [1] Aruna Balasubramanian, Ratul Mahajan, Arun Venkataramani, Brian Neil Levine, and John Zahorjan. Interactive wifi connectivity for moving vehicles. *SIGCOMM Comput. Commun. Rev.*, 38(4):427–438, 2008.
- [2] Guido R. Hiertz, Sebastian Max, Erik Weiß, Lars Berlemann, Dee Denteneer, and Stefan Mangold. Mesh technology enabling ubiquitous wireless networks: invited paper. In *WICON '06: Proceedings of the 2nd annual international workshop on Wireless internet*, page 7, New York, NY, USA, 2006. ACM.
- [3] Paolo Santi. Topology control in wireless ad hoc and sensor networks. *ACM Comput. Surv.*, 37(2):164–194, 2005.
- [4] Andrew S. Tanenbaum. *Computer networks (3rd ed.)*. Prentice-Hall, Inc., Upper Saddle River, NJ, USA, 1996.