CONTROLE DE ACESSO AO MEIO EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Ana Lúcia Maia da Silva Mostardinha

Universidade Federal do Rio de Janeiro

Núcleo de Computação Eletrônica

Pós-graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet

Prof[a]. Luci Pirmez – Orientadora

D. Sc., COPPE/UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

Setembro de 2004

CONTROLE DE ACESSO AO MEIO EM REDES DE SENSORES SEM FIO

Ana Lúcia Maia da Silva Mostardinha

Monografia apresentada para obtenção do título de Especialista em Gerência de Redes de Computadores no Curso de Pós-Graduação Lato Sensu em Gerência de Redes de Computadores e Tecnologia Internet do Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro – NCE/UFRJ.

Aprovada por:

_____

Prof[a]. Luci Pirmez – Orientadora

D. Sc., COPPE/UFRJ, Brasil

Rio de Janeiro

2004

FICHA CATALOGRÁFICA

MOSTARDINHA, ANA LUCIA MAIA DA SILVA

Controle de Acesso ao meio em redes de sensores sem fio, [Rio de Janeiro], 2004.

viii, 47 p., 29,7 cm (NCE/UFRJ, Informática, 2004)

Dissertação (Monografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, NCE

1. Controle de acesso ao meio em redes de sensores sem fio 2. Rede de sensores sem fio.

AGRADECIMENTOS

Ao meu marido, Luiz Carlos, pelo apoio irrestrito e, principalmente, por ter assumido minhas obrigações.

Aos meus novos amigos Flavia Delicato, Reinaldo Correia.

Ao apoio recebido pelo pessoal da IBM e, particularmente, aos gerentes Antonio Carlos de Brito e Euler Moreira.

À minha orientadora Luci Pirmez pela paciência, oportunidade e, sobretudo, pela confiança depositada.

Ao NCE/UFRJ pela infra-estrutura, fruto da dedicação de seus funcionários.

RESUMO

MOSTARDINHA, Ana Lúcia Maia da Silva. **Controle de Acesso ao Meio em redes de sensores sem fio**. Orientador: Luci Pirmez. Rio de Janeiro: UFRJ/NCE, 2004. Monografia (Especialização em Gerência de Redes).

O recente desenvolvimento da microeletrônica possibilitou a construção de sensores sem fio com tamanho reduzido e a baixo custo, tornando o estudo das redes de sensores sem fio uma área de imenso interesse na comunidade acadêmica. Esse crescente interesse advém das inúmeras aplicações onde podem ser utilizadas. A sua aplicabilidade pode ser exemplificada nas áreas militares, ambientais, médicas, e domésticas. O tamanho reduzido de cada nó acarreta em severas limitações, que devem ser consideradas nos protocolos de rede e enlace utilizados nesse tipo de rede. Como a capacidade de armazenamento das baterias dos nós é finita, a limitação mais desafiadora é o consumo de energia. Os esquemas utilizados para o controle do gasto de energia são normalmente implementados nas camadas de rede ou de enlace, ou em ambas. O excesso de quadros de controle, de colisões e de recepção de quadros desnecessários são fontes de desperdício de energia na qual a sub-camada MAC deve estar atenta. Conseqüentemente, os mecanismos de acesso ao meio devem ser organizados corretamente de modo a superar estas limitações. Este trabalho apresenta as principais propostas de controle de acesso ao meio, recentemente publicadas, onde o objetivo fundamental é minimizar o consumo de energia.

ABSTRACT

MOSTARDINHA, Ana Lúcia Maia da Silva. **Controle de Acesso ao Meio em redes de sensores sem fio**. Orientador: Luci Pirmez. Rio de Janeiro: UFRJ/NCE, 2004. Monografia (Especialização em Gerência de Redes).

The recent development of small electronic devices made possible, at a low cost and with reduced size, the construction of wireless sensors, turning the study of the wireless sensor nets into an area of immense interest in the academic community. That growing interest occurs due to countless applications, which is only feasible by wireless sensor technology employment. These applications encompasses areas such as military, environmental, doctors, and domestics. The reduced size of each node carts in severe limitations that should be considered in the design of network and link protocols. Since the storage capacity of the battery nodes is limited, the most challenging limitation is the consumption of energy. In addition, to make matters worse, depending on the application, it is not possible to recharge them. The schemes used to control energy consumption are usually implemented in the network or link layer, or in both. The excess of control frames, collisions and unnecessary frame reception are sources of energy waste, which the MAC sub-layer must be aware of when collected data is sent by the nodes through the wireless sensor network. Hence, the medium access mechanisms must be properly arranged to overcome these limitations. This work surveys the most relevant and recently-published approaches adopted in the sub-MAC layer to minimize the consumption of energy.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Classificação dos protocolos de acesso ao meio 6
Figura 2 – Técnica de controle de acesso ao meio- slotted-aloha 8
Figura 3 - Acesso ao meio TDMA 10
Figura 4 - Acesso ao meio FDMA 10
Figura 5 – Topologia de uma rede Independente - IBSS (*AdHoc*) 11
Figura 6 – Topologia de uma rede infra-estruturada 12
Figura 7 – Alocação dos modos de operação 12
Figura 8 - Procedimento de backoff 14
Figura 9 - Problema de estações escondidas 15
Figura 10 - Problema de estações expostas 16
Figura 11 - DCF utilizando RTS e CTS. 17
Figura 12 - Fragmentação com RTS/CTS 18
Figura 13 - Mecanismo de economia de energia no modo DCF. 19
Figura 14 – (a) Distribuição regular (b)Distribuição aleatória 22
Figura 15– Densidade necessária de acordo com a qualidade desejada 23
Figura 16- Comunicação em múltiplos saltos 24
Figura 17- Topologia hierárquica 25
Figura 18- EAR: Conexão entre nós estacionários e nós móveis 33
Figura 19- SMACS: Troca de mensagens no processo de procura de vizinhos 35
Figura 20 - DPSM – Marcação pacotes não anunciados 41
Figura 21 - DPSM – Incrementar janela ATIM 41

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 1

1.1 Motivações e Objetivos 2

1.2 Organização 4

2 CONCEITOS BÁSICOS 5

2.1 Algoritmos de Acesso ao Meio 5
2.1.1 Aloha 7
2.1.2 Slotted-Aloha 7
2.1.3 Família CSMA 8
2.1.4 Segmentação de canal 9

2.2 Padrões IEEE-802.11 e IEEE-802.15 11
2.2.1 IEEE 802.11 11
2.2.2 Bluetooth 19

2.3 Redes de sensores sem fio 21
2.3.1 Organização da rede 21
2.3.2 Agregação de dados 23
2.3.3 Agrupamento (Clustering) 24
2.3.4 Tipos de aplicações 25

2.4 Considerações finais 26

3 PROTOCOLOS MAC ORIENTADOS A ECONOMIA DE ENERGIA 27

3.1 PAMAS (Power Aware Multi-Access) 28

3.2 EAR (Eavesdrop And Register) 30

3.3 SMACS (Self-Organization Medium Access Control) 33

3.4 S-MAC (Sensor - Medium Acess Control) 35

3.5 DPSM (Dynamic Power Saving Mechanism) 38

3.6 NPSM (New Power Saving Mechanism) 42

3.7 Considerações finais 43

4 CONCLUSÃO 44

5 REFERÊNCIAS 45

1 INTRODUÇÃO

O recente desenvolvimento da microeletrônica possibilitou a construção de sensores sem fio com tamanho reduzido e a baixo custo, tornando o estudo das redes de sensores sem fio uma área de imenso interesse na comunidade acadêmica. Esse crescente interesse advém das inúmeras aplicações onde podem ser utilizadas. A sua aplicabilidade pode ser exemplificada nas áreas militares, ambientais, médicas, e domésticas [3,9].

Em aplicações militares, pode-se imaginar que todo os equipamento, soldados e as munições, contenham um pequeno sensor que retrate o seu estado, disponibilizando essa informação para os comandantes, por exemplo. Outra aplicação militar, onde a rede de sensores sem fio pode ser utilizada, é a vigilância de áreas críticas. Quaisquer movimentações de tropas inimigas seriam rapidamente detectadas e informadas. Pode-se, ainda, imaginar o monitoramento de uma área para verificação de ataque com uso de armas químicas ou biológicas.

Para aplicações ambientais, o uso desse tipo de rede é uma excelente ferramenta para se coletar informações em tempo real e em uma grande área de cobertura. Monitoração do ambiente, estudos de poluição, detecção de incêndio em florestas, movimentação de pássaros e detecção de enchentes são exemplos desse tipo de aplicação.

Na área médica, destacam-se as futuras aplicações para administração de drogas em pacientes de hospitais e a monitoração das condições do corpo do doente pelo médico. No controle do uso das drogas, cada paciente monitorado teria um sensor que identificaria suas alergias e suas medicações prescritas. A monitoração de um paciente permite a identificação de um problema pelo médico, antes mesmo que a pessoa perceba qualquer alteração em sua saúde.

O tamanho reduzido de cada nó acarreta em severas limitações, que devem ser consideradas nos protocolos e enlace utilizados nesse tipo de rede. Essas limitações tornam os protocolos das redes existentes, cabeadas e sem fio, inapropriados. A quantidade de energia de cada nó, a capacidade de processamento e de armazenamento são exemplos dessas restrições. A natureza da aplicação que é executada sobre a rede de sensores tem forte impacto no consumo dos recursos associados a essas restrições.[4]

A quantidade de energia deveria ser suficiente para suportar a aplicação. Entretanto, devido à dificuldade de recarga ou substituição das baterias, deve-se gerenciar o consumo e evitar o desperdício de energia de cada nó com o objetivo de estender a vida útil de toda a rede. A

utilização de alguma tecnologia de recarga de energia nas baterias, além de ser inviável para certos ambientes abrigados ou inóspitos, aumenta o custo do nó.

Baseado no tipo de sensoriamento exigido pela aplicação é possível diferenciar o método de coleta das informações que se deseja obter. A coleta baseada em monitoramento ocorre de forma periódica como, por exemplo, a obtenção de temperatura e umidade. Já na coleta baseada em eventos, as informações são capturadas pelas aplicações somente quando um evento específico for detectado. Exemplos típicos de evento são: a detecção de intrusos, de fogo, de níveis críticos de grandezas físicas em ambientes industriais como pressão e temperatura. É também possível ter coletas híbridas, onde são utilizadas as duas formas anteriormente descritas.

Os mecanismos atualmente propostos para o controle de gerenciamento de energia vêm atendendo, até certo ponto, aos requisitos das redes tradicionais sem fio que consideram a possibilidade de recarga das baterias destes dispositivos. Todavia, para rede de sensores sem fio é vital um controle mais eficiente do gasto de energia. Além disso, os futuros mecanismos de controle deverão ser flexíveis de maneira a contemplar as necessidades e características das diversas aplicações.

1.1 Motivações e Objetivos

Em [10,11] é enumerado as seguintes fontes desperdiçadoras de energia: colisão, a escuta desnecessária (*overhearing*), transmissão de quadros de controle e estado de espera (*idle state*). A colisão, que é inerente aos meios compartilhados, caracteriza-se pelo envio simultâneo de quadros, provocando retransmissões.

A escuta desnecessária, denominada *overhearing*, ocorre devido ao fato de que todos os nós receptores, que se encontra na área de cobertura do emissor, devem capturar o quadro para certificar-se que o mesmo é para si.

Os quadros de controle, que são utilizados para implementar os esquemas de detecção e correção de erros, assim como, a fragmentação dos quadros e o controle de colisões, geram sobrecarga de transmissão e recepção nas interfaces de rádio dos nós, podendo consumir energia excessiva.

No estado de espera, o estágio de recepção da interface de rádio deve estar habilitado quando da recepção de algum quadro. Contudo, o momento da chegada do quadro é desconhecido. Logo, a manutenção do rádio ligado na expectativa do recebimento de algum quadro, denominado escuta *Idle*, acarreta em uma outra fonte de consumo de energia desnecessária.

Assim sendo, com o objetivo de minimizar o consumo de energia, a subcamada MAC, em redes de sensores sem fio, deve ser capaz de minimizar as colisões e, de desligar seus rádios em períodos de inatividade. Essas medidas uma vez adotadas reduzem o consumo de energia, devido: a redução de retransmissões, a escuta desnecessária e o tempo no estado de espera. Além disso, o uso de mensagens de controle devem ser otimizado.

Na proposta do S-MAC [10,11], algumas fontes de desperdício de energia são eliminadas alterando o padrão IEEE 802.11. Para possibilitar o desligamento das interfaces de rádio é criada uma mensagem de controle, onde todos os nós escolhem um período de tempo onde ficarão com seus rádios ligados. Outra alteração implementada é na fragmentação dos pacotes. Uma vez que o nó ganha o acesso ao meio, esse somente será liberado quando todos os fragmentos do quadro forem transmitidos. O LEACH [13] evita as fontes desperdiçadoras, atuando tanto na camada de rede e na camada de enlace. Essa proposta utiliza um controle de acesso ao meio ordenado baseado na divisão do tempo (TDMA – *Time Division Multiple Access*), eliminando as colisões e facilitando o esquema de desligamento das interfaces de rádio. A organização lógica dos nós é feita hierarquicamente por agrupamento (*clustering*). A implementação da proposta assume que o nó de convergência (*sink*) de todas as informações da rede é capaz de comunicar-se bidirecionalmente com todos os nós.

O objetivo do S-MAC é alcançado em detrimento da justiça e da latência de acesso ao meio que são colocados em segundo plano, cujo impacto dependerá do tipo de aplicação utilizado. Em certas aplicações de monitoramento, a justiça e a latência não são parâmetros relevantes, ao contrário das aplicações baseadas em eventos. No LEACH, por exemplo, onde todos os nós são capazes de se comunicar com o nó *sink*, por si só é a maior consumidora de energia, pois o consumo de energia está diretamente relacionado à potência do sinal transmitido, e, conseqüentemente, ao alcance da transmissão.

Este trabalho apresenta o estado da arte no controle de acesso ao meio para redes de sensores sem fio. São descritas as principais propostas de controle de acesso ao meio, recentemente

publicadas, cujo objetivo fundamental é minimizar o consumo de energia, controlando as fontes de desperdício mencionadas anteriormente. Alguns desses protocolos possuem a preocupação adicional de oferecer baixa latência e garantir a justiça ao acesso ao meio. Outra característica importante e salientada no conteúdo desse trabalho é qual o tipo de aplicação mais adequada a cada protocolo apresentado.

1.2 Organização

O restante da monografia está estruturado em quatro capítulos. No segundo capítulo, são apresentados os conceitos básicos necessários ao entendimento dos protocolos que serão apresentados no próximo capítulo. Estão descritos os princípios de um protocolo de acesso ao meio de transmissão, os diferentes protocolos existentes e os padrões definidos pelos órgãos responsáveis. O terceiro capítulo apresenta um conjunto de protocolos da camada MAC para uma rede sem fio com restrição de disponibilidade de energia, como uma rede de sensores. Por fim, as conclusões finais e os possíveis trabalhos futuros são apresentados no quarto capítulo.

2 CONCEITOS BÁSICOS

Este capítulo apresenta os conceitos básicos de controle de acesso ao meio necessários para o entendimento desta dissertação. Os padrões da subcamanda MAC assim como as principais características das redes de sensores sem fio são abordados.

Esse capítulo está organizado em 4 seções. A seção 2.1 descreve os principais algoritmos de controle de acesso ao meio. Na seção seguinte, são apresentados os padrões IEEE802.11[15] e *Bluetooth* utilizados em rede de computadores sem fio, detalhando os mecanismos voltados para a economia de energia. Na seção 2.3, são apresentadas as características relevantes das redes de sensores sem fio e, por último, na seção 2.4, as considerações finais.

2.1 Algoritmos de Acesso ao Meio

O padrão IEEE define duas subcamadas para a camada de enlace do modelo OSI, que são: a e a LLC (*Logical Link Control) e a* MAC (*Medium Access Control*). A subcamada LLC agrega as funcionalidades que são independentes da tecnologia do meio físico, enquanto que a subcamada MAC é específica para cada tipo de padrão de meio físico utilizado.

A subcamada MAC é responsável pelo controle de acesso ao meio, de forma a evitar que duas ou mais estações transmitam simultaneamente, provocando interferência no meio.

O controle de acesso nos enlaces multiponto ou broadcast pode ser baseado em acesso ordenado ou acesso aleatório. No ordenado, não ocorre colisão, ou seja, duas ou mais estações não transmitem simultaneamente. Esses algoritmos, também conhecidos como de acesso sem contenção, baseiam-se em revezamento ou segmentação do canal.

Nos métodos baseados em revezamento, o acesso é coordenado através de uma mensagem (quadro), de forma que o acesso ao meio é liberado para a estação receptora dessa mensagem. Dessa forma, apenas uma estação transmite seus quadros por vez. Exemplos desses métodos são os métodos de *polling* e passagem de permissão (*token passing*).

Nos métodos baseados em segmentação, o canal físico de transmissão é segmentado em canais lógicos, dentro dos quais dados podem ser enviados. Assim, cada estação está associada a um canal lógico exclusivo para transmissão e recepção. Contudo, caso uma estação não possua dados para transmitir, o canal lógico não poderá ser utilizado por nenhuma outra estação. A segmentação do canal físico em canais lógicos pode ser implementada pela

divisão do tempo, pela divisão da freqüência ou pela divisão de códigos. Os métodos TDMA, FDMA, CDMA são exemplos de métodos de acesso ordenados utilizando a técnica de segmentação do canal físico, por intermédio da divisão do tempo, da freqüência e de código respectivamente.

Nos protocolos de acesso aleatório, cada estação é logicamente independente, ou seja, podem acessar o meio a qualquer instante de tempo. Sendo assim, duas ou mais estações podem transmitir simultaneamente, provocando a perda de informações devido a colisões. Portanto, esses algoritmos são conhecidos como algoritmos baseados em contenção. Alguns exemplos de algoritmos baseados em contenção são: *Aloha, Slotted-Aloha* e a família CSMA[8, 27]. A figura 1 apresenta um diagrama de classificação dos protocolos de acesso ao meio.

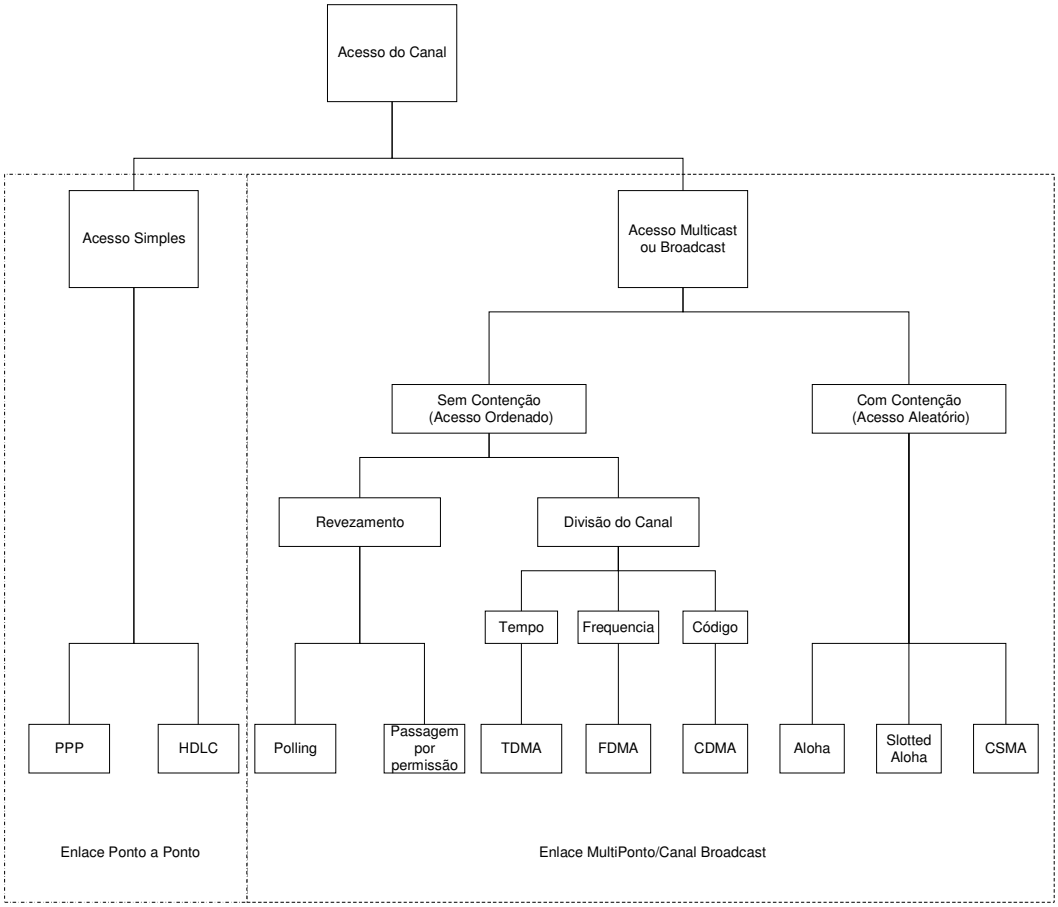

Figura 1 - Classificação dos protocolos de acesso ao meio

2.1.1 Aloha

Esse protocolo foi desenvolvido para atender a comunicação entre terminais “burros” com o computador central (*mainframe)* onde não era possível instalar uma rede cabeada. O sistema de comunicação via satélite utilizou dois canais: um canal entre o computador central e os terminais e um outro canal entre os terminais e o computador central. Neste último canal é possível ocorrer colisões devido à existência de vários transmissores (terminais) em um meio compartilhado (*broadcast*).

No método *Aloha*, quando um terminal possui informação a ser enviada, a transmissão é feita imediatamente. O terminal não possui mecanismo de escuta do canal (detecção de portadora) no qual envia dados (sentido terminal-computador). O terminal possui apenas a capacidade de receber dados por intermédio do canal computador-terminal. Assim sendo é possível ocorrer colisões no canal compartilhado pelos terminais para a comunicação com o computador central.

O terminal transmissor certifica-se que o quadro foi entregue ao computador central, pois ele, ao terminar de transmitir, dispara um temporizador de aguardo de um quadro de reconhecimento de recepção positivo (*ACK*) gerado pelo computador central caso este receba o quadro isento de erros (CRC). No caso de transmissão simultânea (colisão) no canal de comunicação terminal-computador, o quadro chegará no receptor (computador central) corrompido. Portanto, o reconhecimento positivo não será enviado. Assim o período de espera definido no temporizador esgotar-se-á informando o terminal que o quadro não atingiu o destino, necessitando a sua retransmissão.

2.1.2 Slotted-Aloha

A idéia básica do *slotted-aloha* é sincronizar a colisão de forma que sempre ocorra a sobreposição total de quadros colididos. O método *slotted-aloha* propõe dividir o tempo em fragmentos de mesmo tamanho, e quando um terminal desejar transmitir, só o poderá fazê-lo no início do próximo fragmento de tempo. Essa técnica melhora a utilização do canal e diminui a quantidade de tempo desperdiçado, porém é introduzido um retardo na transmissão. A eficiência do *slotted-aloha* em comparação ao *Aloha* puro é praticamente o dobro[24].

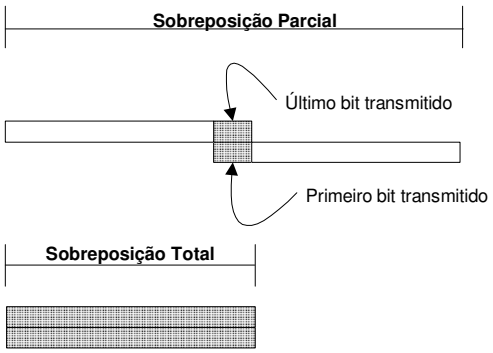

Figura 2 – Técnica de controle de acesso ao meio- slotted-aloha

2.1.3 Família CSMA

Com objetivo de melhorar o desempenho, evitando colisões, novos protocolos baseados na escuta do meio antes de transmitir foram propostos. Os algoritmos que utilizam a escuta do canal são denominados protocolos com detecção de portadora (**CSMA** - *Carrier Sense Multiple Access.* Os principais algoritmos dessa família encontrados na literatura são: CSMA 1-persistente, CSMA não persistente, CSMA *p*-persistente, CSMA/CD e CSMA/CA).

No CSMA 1-persistente, um quadro é transmitido imediatamente quando a estação escuta o meio e esse estiver livre. Caso contrário, a estação permanecerá escutando o meio até esse ficar livre. Esse protocolo apresenta retardo de entrega menor comparado com o Slotted-Aloha, pois a transmissão do quadro no CSMA 1-persistente ocorrerá logo após o término da transmissão em andamento. Contudo, sob alto tráfego, existe grande probabilidade de duas ou mais estações estarem aguardando o término da mesma transmissão acarretando colisão e uma baixa eficiência do protocolo na utilização de banda.

O CSMA não persistente propõe alterações quando o meio se encontra ocupado. Ao invés de continuar escutando o meio persistentemente, a estação aguardará um tempo aleatório e repetirá o algoritmo. O tempo de espera aleatório minimiza as colisões caso existam mais de uma estação aguardando a liberação do meio. Esse algoritmo, se por um lado, aumenta o desempenho da rede em relação à utilização de banda, por outro, também aumenta o retardo de entrega dos quadros.

O CSMA *p*-persistente inclui um mecanismo que define uma probabilidade *p* de transmissão do quadro quando o meio se encontrar livre e uma probabilidade *(1-p)* de não transmiti-lo.

Caso o quadro não seja transmitido, a estação volta a escutar o meio e o processo anterior e repetido até a estação conseguir transmitir ou até uma outra estação ganhe o acesso ao meio Esse mecanismo adicional aumenta a eficiência do protocolo, pois minimiza a possibilidade de transmissões simultâneas quando o meio é liberado após a transmissão de um quadro. O protocolo CSMA 1-persistente é um caso particular do *p*-persistente, onde a probabilidade *p* de transmitir é definida com 100%.

Os protocolos da família CSMA descritos até o momento caracterizam-se por permitir que um quadro colidido continue a ser transmitido até o seu final. Conseqüentemente, o tempo de ocupação do meio físico com quadros inválidos acarreta no desperdício de largura de banda. O protocolo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Detection*) é 1-persistente e visa justamente evitar o tráfego de quadros inválidos no meio, detectando colisões tão logo ocorram e interrompendo as respectivas transmissões o mais rapidamente possível. Para isso é necessário um circuito capaz de detectar a colisão (*Collision Detection*). Este circuito baseia-se na comparação da potência e na largura do pulso do sinal recebido com o sinal transmitido.

Entretanto, o retardo da propagação do sinal tem forte impacto na eficiência desses algoritmos que utilizam a escuta do canal (família CSMA) antes de transmitir. Pois, caso o sinal de uma estação que esteja transmitindo, ainda não tenha alcançado uma outra estação, que também deseja transmitir, ocorrerá colisão. A colisão ocorrerá pois a estação não será capaz de detectar que o meio está ocupado visto que o sinal ainda está propagando-se em sua direção.

No protocolo CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access / Collision Avoidance*) é apresentado na seção 2.2.1.

2.1.4 Segmentação de canal

O canal físico de transmissão é segmentado em canais lógicos, dentro dos quais dados podem ser enviados. Assim, cada estação está associada a um canal lógico exclusivo para transmissão e recepção. A segmentação do canal físico em canais lógicos pode ser implementada pela divisão do tempo, pela divisão da freqüência ou pela divisão de códigos.

No TDMA (*Time Division Multiplexing Access*), o tempo é dividido em iguais fragmentos. Cada estação recebe um slot, no qual seus quadros são transmitidos. Nesse algoritmo não ocorre colisão, contudo é necessário manter o sincronismo na rede. A desvantagem é que o

slot de tempo é desperdiçado quando uma estação não tem quadros para transmitir, acarretando em sub-utilização da largura de banda. A vantagem desse protocolo é permitir, sob alto tráfego, que a largura de banda seja utilizada quase que totalmente além de garantir justiça no compartilhamento da largura de banda.

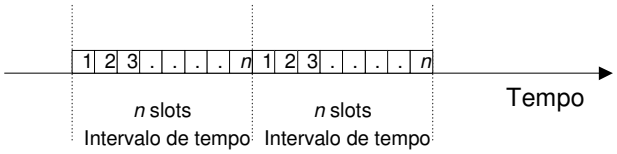

Figura 3 - Acesso ao meio TDMA

No método FDMA (*Frequency Division Multiplexing Acess*), o espectro do canal é dividido em faixas de freqüência, sub-canais, que são alocadas a cada estação. Uma das desvantagens desse método, conforme ocorre com o TDMA, é que a banda passante é sub-utilizada quando estações não possuem quadros a transmitir. Outra desvantagem esta no limite do número de estações pois o espectro não pode ser dividido indefinidamente, devido a problemas de interferência entre os sub-canais. Quanto à utilização de banda, o FDMA apresenta a mesma vantagem do TDMA.

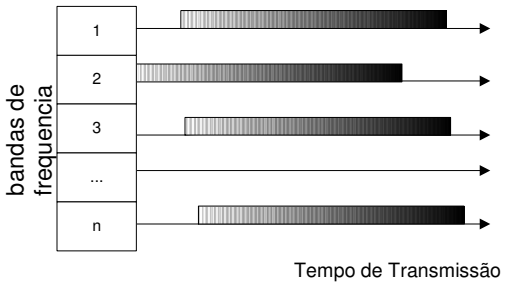

Figura 4 - Acesso ao meio FDMA

Na proposta do CDMA (*Code Division Multiplexing Access*) é permitido que cada estação transmita sobre todo o espectro de freqüência do canal durante todo o tempo. As transmissões simultâneas são possíveis devido ao uso de uma técnica chamada *chipping sequence* que consiste na codificação dos bits de dados em partes menores chamadas *chips*. Este método permite que várias estações transmitam simultaneamente com a mínima interferência. Os códigos que minimizam a interferência são chamados códigos ortogonais.

2.2 Padrões IEEE-802.11 e IEEE-802.15

Em 1997 foi publicado o padrão denominado IEEE-802.11[15] que define uma arquitetura para as redes locais sem fio (*WLANS - Wireless Local Area Network*), a codificação dos sinais no meio físico além do método de acesso ao meio de transmissão. O protocolo Bluetooth foi padronizado em 1999 para redes pessoais sem fio (*WPANS - Wireless Personal Area Networks*), sendo definido posteriormente como IEEE-802.15.

2.2.1 IEEE 802.11

As redes de computadores sem fio diferem em importantes aspectos das redes tradicionais cabeadas, tais como a interferência dos sinais no canal de comunicação, o dinamismo da topologia e o consumo de energia dos dispositivos de rede. A especificação do 802.11 define uma arquitetura específica, implementando mecanismos com o objetivo de atender essas necessidades de forma a garantir um certo grau de eficiência na operação da rede.

- Arquitetura 802.11

No padrão 802.11, o conjunto de estações agrupadas em uma área de cobertura (BSA - *Basic Service Area*) é denominado BSS's (*Basic Service Set*). A extensão da BSA depende das características do ambiente e das interfaces de rádio utilizadas. Dentro de uma única BSA as estações comunicam-se diretamente entre si, sendo nomeada como uma IBSS (*Independent Basic Service Set*, também conhecidas como redes *AdHoc*.

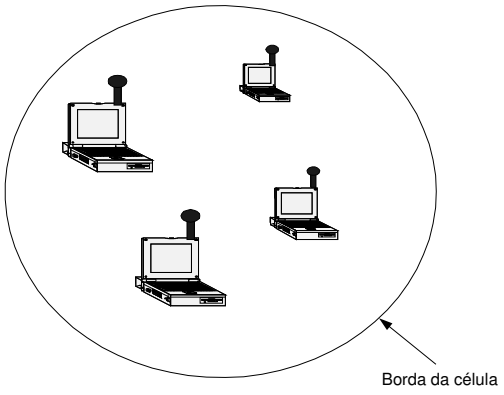

Figura 5 – Topologia de uma rede Independente - IBSS (*AdHoc*)

Um conjunto de uma ou mais BSS's interconectadas por um sistema de distribuição é denominada ESS (*Extend Service Set*). Um sistema de distribuição pode utilizar qualquer tecnologia de rede, sem fio ou cabeada. Estações de diferentes BSS's para se comunicarem utilizam um dispositivo central denominado AP (*access point*), existente em cada BSS. A comunicação das BSS's com uma rede cabeada é feita através de um dispositivo definido como portal, podendo esse ser integrado ou não ao AP(*access point*).

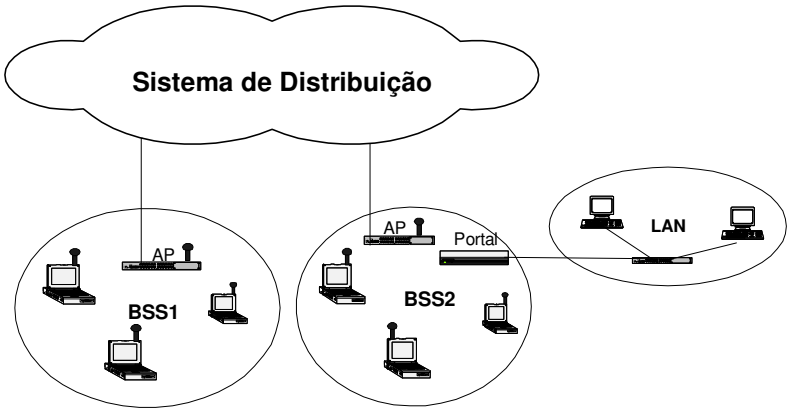

Figura 6 – Topologia de uma rede infra-estruturada

- Modos de Operação

A subcamada MAC do IEEE 802.11[15] implementa dois modos de operação: PCF (*Point Coordination Function*) e DCF (*Distributed Coordination Function*). O padrão obriga a implementação do DCF, enquanto que o PCF é opcional. No caso em que o PCF é implementado, o AP coordena a coexistência dos dois modos. O tempo é divido em unidades (*slots*) onde cada modo recebe uma fração de cada uma dessas unidades. A proporção das frações é configurável em função da natureza do tráfego. A figura 7 detalha o esquema de alocação dos modos de operação.

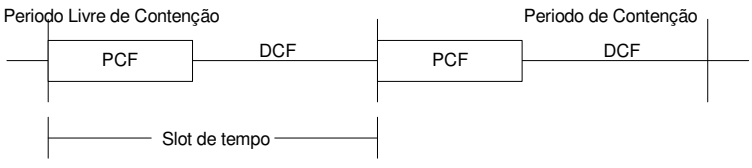

Figura 7 – Alocação dos modos de operação

O PCF, que é síncrono, utiliza o método *polling* onde a decisão de qual estação deve transmitir é centralizada no AP(*Access Point*). Os tráfegos que necessitam garantia de retardo e banda (voz e vídeo) usam esse modo.

O DCF é assíncrono, onde a decisão em qual momento transmitir é tomada individualmente por cada estação, portanto sujeito à ocorrência de colisão. Esse modo destina-se aos tráfegos *best-effort*. O controle de acesso ao meio nesse método, conforme especificado no padrão IEEE-802.11 [15], baseia-se no protocolo CSMA/CA. Quando uma estação deseja transmitir, primeiramente verifica se o meio está livre. Em caso afirmativo, a estação é obrigada a aguardar um intervalo de tempo denominado intervalo inter-quadros (IFS - *Interframe Space*). Após este tempo, se o meio permanecer livre, a estação transmite. A estação receptora, após verificar que o quadro recebido está isento de erro (cálculo do CRC – *Cyclic Redundance Code*), envia um quadro de controle, o reconhecimento positivo (*ACK*), para a estação transmissora.

Existem 3 situações que a transmissão é adiada e um processo denominado recuo exponencial binário *(Binary Exponential Backoff)* é executado.Elas são: quando o meio está ocupado ou tenha ficado ocupado durante o intervalo inter-quadros (IFS); após uma transmissão bem sucedida; e após uma colisão.

Esse processo *(Binary Exponential Backoff)* consiste de dois passos. No primeiro passo, é escolhido de forma aleatória um número de intervalos de tempo (*slot*) que a estação deve esperar antes de efetuar a transmissão. A quantidade de intervalos de tempo varia entre um valor mínimo (CW_{min}) e um valor limite calculado que representa o tamanho da janela de contenção. O segundo passo do processo consiste no decremento desse número, que ocorre a cada intervalo de tempo em que o meio permanece livre. Esse decremento é suspenso sempre que o meio venha a ficar ocupado e é reativado quando o meio torna-se novamente livre. A estação transmite quando a contagem atinge o valor zero (Figura 8). A janela de contenção não é fixa, sendo configurada, inicialmente, com um valor mínimo (CW_{min}). A cada transmissão não efetuada, esse valor é recalculado por intermédio da função exponencial $2^n - 1$, onde n é incrementado para cada tentativa de transmissão. O tamanho máximo da janela, CW_{Max}, é pré-definido. Esse processo (primeiro e segundo passos) é reiniciado caso a estação não consiga efetuar sua transmissão.

O tamanho da janela de contenção, pelo fato de ser dinâmico, minimiza o número de colisões sob alto tráfego porque no seu cálculo considera o número de tentativas de transmissão. Um número crescente de tentativas consecutivas indica que o meio está sendo muito utilizado, fazendo com que as estações esperem um tempo maior para transmitir. Por outro lado, a latência de acesso ao meio permanece em valores aceitáveis uma vez que, sob baixo tráfego, o valor da janela de contenção também é baixo. Além disso, a justiça no acesso ao meio é, até certo ponto, assegurada pela aleatoriedade na escolha do número de intervalos de tempo que cada estação aguarda antes de transmitir.

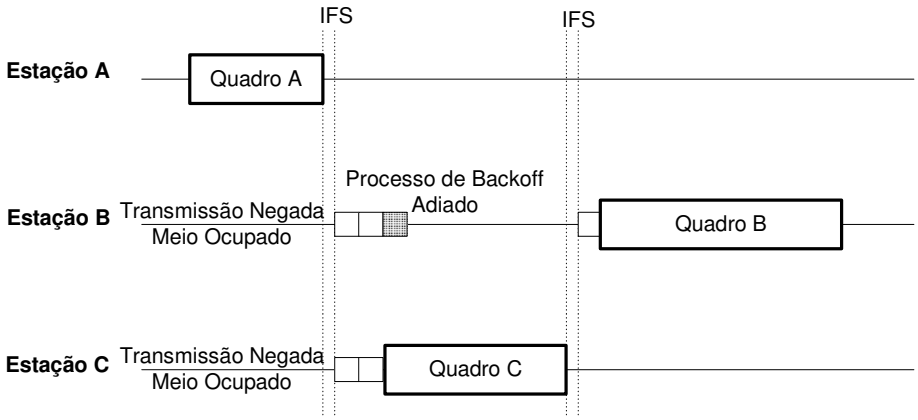

Figura 8 - Procedimento de backoff

Para assegurar prioridade na transmissão de quadros, é definido diferentes tempos de espera inter-quadros: SIFS (*Short Interframe Space*), PIFS (*PCF Interframe Space*), DIFS (*DCF Interframe Space*) e EIFS (*Extended Interframe Space*). O SIFS é utilizado antes do envio de quadros de reconhecimento (ACK e NACK), de CTS (*Clear to Send*), de resposta das estações ao AP (*Access Point*) quando este efetua o *polling*, e entre um fragmento e outro, pertencentes a um mesmo quadro. O DIFS é utilizado antes do envio de quadros de dados no modo DCF. Por definição, o SIFS é menor que DIFS, garantindo prioridade na entrega de quadros de controle. O PIFS é utilizado pelo AP (*Access Point*) antes de iniciar o período livre de contenção, modo PCF, através do envio de um quadro especial denominado *beacon*. Por definição, o PIFS é menor que o DIFS, garantindo que nenhuma estação envie dados no modo DCF antes do AP.

- Estações Escondidas e Expostas

As redes sem fio, ao contrário das redes cabeadas, apresentam os problemas das estações escondidas e das estações expostas. A detecção de uma transmissão depende da escuta do sinal no meio. Em redes sem fio, uma estação capta sinais dentro de sua área de cobertura. Ao desejar transmitir para uma estação que se encontra dentro de sua área de cobertura, a estação transmissora pode erroneamente concluir que o meio está livre. Entretanto, pode estar ocorrendo uma transmissão para a mesma estação receptora proveniente de outra estação fora da área de cobertura da estação transmissora. Ao transmitir, certamente ocorrerá colisão na estação receptora. Esse problema é conhecido como o problema das estações escondidas.

A figura 9 ilustra esse problema, onde a estação *A* e a estação *C* são estações transmissoras e a estação *B* a receptora. A estação *B* se encontra na área de cobertura de *A* e *C*, mas a estação *C* não está na área de cobertura de *A* e vice-versa. A estação *A* transmite para estação *B* desconhecendo a transmissão da estação *C* para a estação *B*. Na estação receptora, estação *B*, ocorre, portanto, colisão dos quadros.

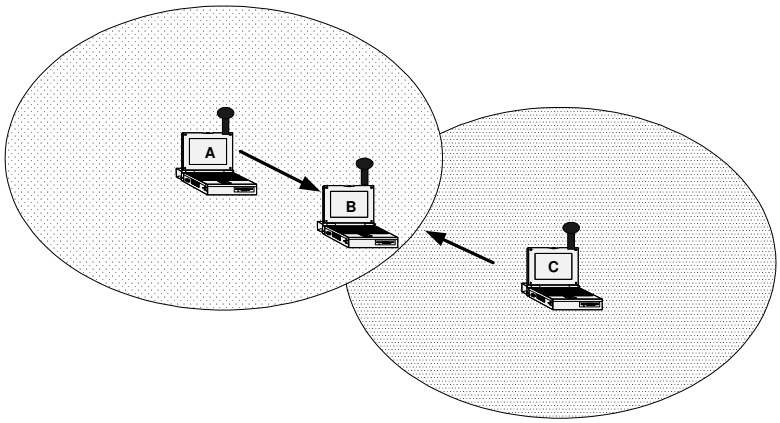

Figura 9 - Problema de estações escondidas

O problema da estação exposta caracteriza-se pelo impedimento de uma estação de transmitir devido a transmissões em andamento que estão fora do alcance da estação destino. Esse problema pode ser visualizado na figura 10, onde a estação *C* não transmite para a estação *D* por causa da detecção da transmissão da estação *B* para a estação *A*, apesar de a transmissão da estação *C* não alcançar a estação *A*.

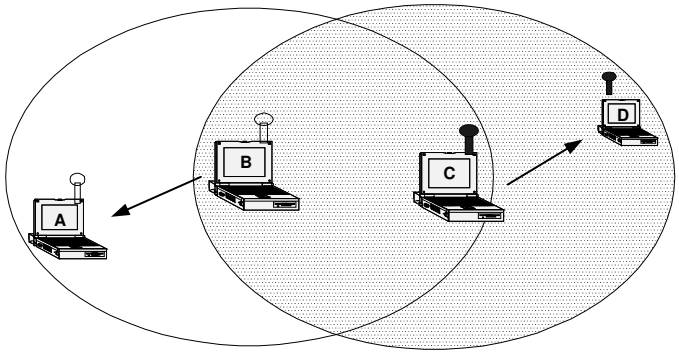

Figura 10 - Problema de estações expostas

Para reduzir a probabilidade de duas estações colidirem devido ao problema de estações escondidas, o padrão IEEE-802.11 [15] especifica, opcionalmente, um mecanismo denominado detecção virtual da portadora. Esse mecanismo consiste no envio de quadros de controle para solicitar o acesso ao meio. Esses quadros contêm a identificação do nó destino e a duração da transmissão incluindo os intervalos inter-quadros e o tempo necessário ao recebimento do ACK referente ao pacote de dados que se quer transmitir. Os pacotes de controle usados para solicitar o acesso ao meio são o de requisição de acesso (*RTS – Request to Send*) e o de permissão de acesso (*CTS – Clear to Send*). A estação transmissora verifica se o meio está livre durante intervalo de tempo DIFS e, após este tempo, envia um quadro RTS para o receptor com objetivo de reservar o meio. O destino, ao receber o quadro RTS corretamente, responde com o quadro CTS, após um intervalo inter-quadros SIFS. A estação transmissora, após receber o CTS, aguarda por um intervalo SIFS, transmite seu quadro de dados e aguarda o recebimento do quadro de reconhecimento (ACK ou NACK) da estação destino. A figura 11 apresenta, esquematicamente, a utilização dos quadros de controle RTS, CTS e o vetor de alocação de rede (NAV - *Network Allocation Vector*) para atender o problema das estações escondidas.

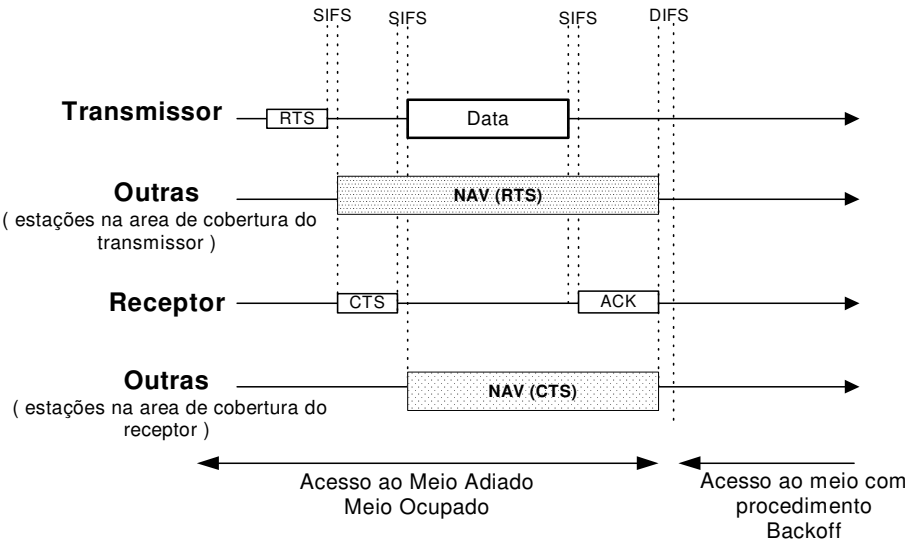

Figura 11 - DCF utilizando RTS e CTS.

Todas as estações que estão na área de cobertura da estação transmissora ou da estação receptora recebem a informação de duração da transmissão através de um dos quadros RTS, ou CTS e/ou o pacote de dados. Essas estações registram essa informação nos seus respectivos vetores de alocação de rede, chamado NAV. O NAV é decrementado periodicamente. As estações que desejam transmitir, previamente, verificam seus NAV´s para certificar-se que não existem transmissões em andamento. Caso o NAV esteja com valor zero, caracterizando nenhuma transmissão em andamento, a estação disputará o meio seguindo o procedimento do padrão.

- Suporte a Fragmentação

As redes sem fio estão mais sujeita a erros devido à utilização de sinais de radiofreqüência para transmissão dos dados no meio físico. Os erros ocorrem devido à interferência ou enfraquecimento do sinal. Assim, quanto maior forem os quadros, mais suscetíveis de serem corrompidos, acarretando a necessidade de retransmissões. Essas retransmissões consomem energia e banda passante desnecessária, tornado a utilização do canal ineficiente e reduzindo o tempo de vida da rede.

O padrão IEEE802.11 propõe a fragmentação e a remontagem de quadros em transmissões ponto a ponto. Para que um quadro seja fragmentado, é necessário que ele possua um tamanho

acima de um limite predeterminado, Fragmentation $_{threshold.}$. No modo DCF, os fragmentos são enviados consecutivamente (rajadas), utilizando apenas um único procedimento de reserva de acesso ao meio (CSMA/CA com RTS/CTS). Após uma estação disputar o meio e ter o direito à transmissão, cada fragmento é transmitido após o recebimento do ACK do fragmento anterior e após esperar um intervalo inter-quadros SIFS. Caso a transmissão de um fragmento não seja bem sucedida, haverá novamente a disputa pelo meio e a transmissão ocorrerá a partir do último fragmento não confirmado. No campo de duração da transmissão do quadro, informa-se o tempo total da transmissão do próximo fragmento incluindo o envio, pelo receptor, do quadro de reconhecimento positivo (ACK). Assim, conforme indicado na figura 12, todas as estações na área de cobertura do transmissor e/ou do receptor atualizam seus vetores de alocação de rede – NAVs.

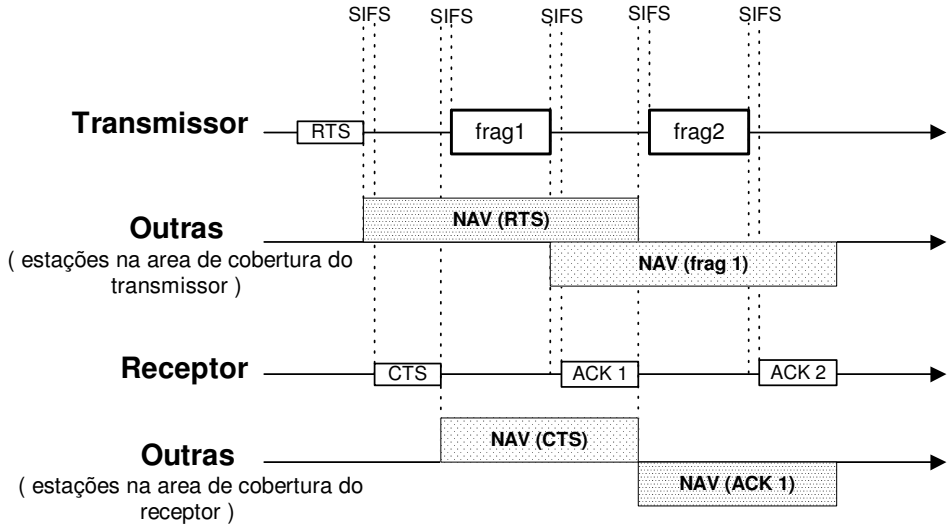

Figura 12 - Fragmentação com RTS/CTS

- Suporte a Economia de Energia

O padrão IEEE802.11 suporta opcionalmente um mecanismo de economia de energia para os seus dois modos de acesso ao meio: Função de Coordenação Distribuída (DCF) e Função de Coordenação Pontual (PCF). O mecanismo de economia de energia para o modo PCF está fora do escopo deste trabalho e, portanto, sua descrição não será apresentada.

No modo DCF, o mecanismo de economia de energia consiste em dividir o tempo em intervalos pré-definidos, chamados de intervalo *beacon.* No inicio de cada intervalo é definido um intervalo de tempo chamado janela ATIM *(Ad-hoc Traffic Indication Message)*, onde todas as estações estão ativas. Quando uma estação possui um pacote para ser transmitido, primeiramente é enviado um quadro ATIM para a estação destino, durante a janela ATIM. A estação destino retorna com um quadro ATIM-ACK. Durante todo intervalo do *beacon*, as estações permanecem ativas para executar a transmissão ou recepção. As estações que não transmitirem ou não receberem um quadro ATIM podem "adormecer" após o término do período da janela ATIM (Figura 13). Durante a janela ATIM todas as estações estão ativas e somente quadros ATIM e ATIM-ACK podem ser transmitidos. A transmissão de dados somente ocorre após a janela ATIM. O sincronismo é mantido através da transmissão periódica de pacotes *beacons* no início de cada janela ATIM pelas estações da BSS.

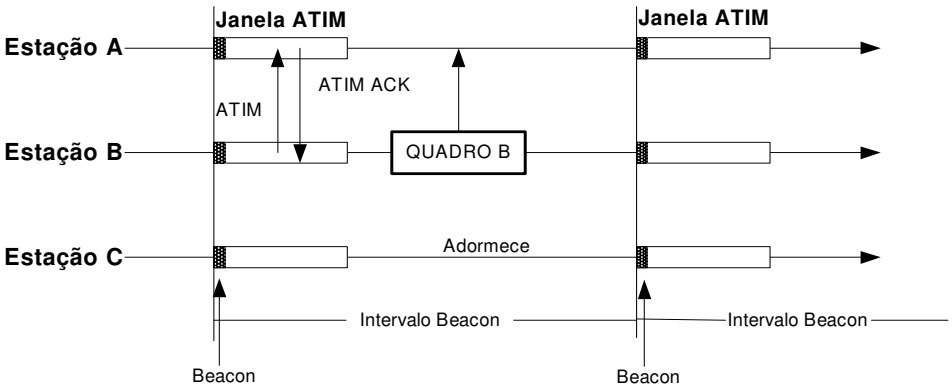

Figura 13 - Mecanismo de economia de energia no modo DCF.

2.2.2 Bluetooth

Bluetooth foi padronizado, em 1999, para redes pessoais sem fio (WPANS-Wireless *Personal Area Networks*), sendo definido como IEEE-802.15. Caracteriza-se por ser um sistema de baixo custo, de baixo consumo de energia, de baixa complexidade e pela utilização de um canal de radiofreqüência de curto alcance. O canal de comunicação é half-duplex com divisão no tempo (TDD -*Time Division Duplex*) com saltos de freqüência (*frequency hopping*).

O Bluetooth adota um sistema ad-hoc e suas estações podem assumir um dos 2 papéis: escavo ou mestre. Cada rede bluetooth deve ter apenas um mestre. O tempo é divido em partes iguais, denominadas *slots*. O mestre transmite dados para os escravos nos *slots* de tempo pares

enquanto os escravos transmitem dados nos *slots* de tempo ímpares. O nó mestre tem a função de configurar a rede, que consiste em alocar os slots aos escravos. Um *slot* de tempo corresponde a 625μs.

A configuração mínima de rede é denominada *piconet*, possuindo no máximo sete nós escravos ativos (estações ou periféricos) e um nó mestre. Cada *piconet* utiliza uma seqüência particular de saltos de freqüência, permitindo a coexistência de várias *piconets* em uma mesma área de cobertura. O objetivo inicial dessa rede era eliminar os cabos dos periféricos que são conectados ao computador (teclado, mouse, impressora). Atualmente, sua utilização já atinge várias aplicações, inclusive está sendo proposto para utilização em rede de sensores sem fio. A área de cobertura máxima de um nó *Bluethooth* atinge 10 metros, podendo ser extendida para 100 metros, e a potência do sinal na transmissão é de 20dBm[4].

Quatro são os modos de operação: *active, hold, park e sniff.* Os modos *hold, park e sniff* são propostos pelo padrão com objetivo de economizar energia. No modo *active*, ocorre o maior consumo de energia, pois o dispositivo *Bluetooth* permanece ligado a maior parte do tempo. Nesse modo cada escravo ativo, ao receber um pacote do mestre, verifica no seu cabeçalho o endereço destino (AM_ADDR) e o comprimento do pacote. Caso o pacote não esteja endereçado para o escravo, este passa para o estado de economia de energia durante o restante da transmissão. Neste estado, a função de recepção assim como a de transmissão é desligada.

No modo *hold*, um escravo pode temporariamente suspender a sua comunicação de dados. Para o escravo entrar neste modo operacional é necessária a troca de mensagens denominadas LPM (*Link Manager Protocol*) com o mestre. Assim, o escravo não será endereçado pelo mestre por período de tempo correspondente a um certo número de *slots (holdTo).* Após o tempo de *Holdto,* o escravo retorna para o modo operacional *ativo.* O escravo durante esse modo não perde o seu endereço de conexão na *piconet.*

No modo *park*, o escravo permanece inativo por um período de tempo indefinido. Para retornar ao modo *ativo*, o mestre, obrigatoriamente, deve ativá-lo. Entretanto, periodicamente o escravo acorda realizar o sincronismo. O escravo durante esse modo libera seu endereço de conexão ativo na piconet (AM_ADDR) e recebe um endereço de *parked* (PM_ADDR). Assim, é permitido que outro nó ingresse na piconet utilizando os seus *slots*.

O último modo de economia de energia, *sniff*, é permitido o escravo permanecer nos estados inativo e ativo em horários pré-determinados. Assim o mestre somente inicia a transmissão em um especifico *slot* de tempo. Um escravo, em modo *sniff,* escuta a transmissão feita pelo mestre a cada intervalo $\mathbf{T_{sniff}}$,por um especificado número de slots, $\mathbf{N_{Sniff\text{-}Attempt}}$.

2.3 Redes de sensores sem fio

As redes de sensores sem fio são utilizadas onde o sensoriamento remoto não atende às necessidades de determinadas aplicações. Nos casos de aplicações em áreas inóspitas ou de difícil acesso, o sensoriamento *in locus* só é possível com redes de sensores sem fio. Essa abordagem de sensoriamento tornou-se possível em face do recente desenvolvimento da microeletrônica e das modernas técnicas de transmissão digital.

Contudo, para a garantia de uma confiabilidade mínima é necessário que um grande número de sensores sejam disponibilizados na área de estudo ou cobertura. Com isso, foi vital o desenvolvimento de sensores com tamanhos reduzidos e a baixo custo. Essas características acarretam em severas limitações na operação da rede, como a quantidade limitada de energia e as capacidades de processamento e de armazenamento reduzidas em cada nó. Adicionalmente, tornado ainda mais complexa sua implantação e operação, essas redes necessitam de ter a capacidade de se auto-organizar. Diante desse cenário no qual as redes de sensores estão inseridas, novos protocolos estão sendo desenvolvidos para aumentar o tempo de vida da rede. Esses protocolos devem considerar as possibilidades de auto -organização da rede com o desligamento de sensores redundantes, de agregação de dados nos nós intermediários, de agrupamento dos nós e de adaptações nos protocolos de enlace para os diferentes tipos de aplicações.

2.3.1 Organização da rede

Em redes de sensores sem fio, as informações convergem para um ou mais nós que possuam maiores capacidades de processamento, de armazenamento e de energia. Esses sensores, denominados *sinks*, funcionam como uma espécie de *gateway* permitindo a comunicação com redes externas, disponibilizando as informações sensoriadas. Os nós *sinks* também possuem a capacidade de enviar mensagens específicas para um grupo de sensores (multicast) ou enviar mensagem para toda a rede (*broadcast*). [5]

Nos casos em que a área de sensoriamento ou estudo é inóspita ou de difícil acesso, os nós são disponibilizados aleatoriamente e em grande número. Conforme apresentado na figura 14, é possível a ocorrência de uma redundância na capacidade de sensoriar uma sub-região da área de estudo devido aos nós não estarem dispostos uniformemente.

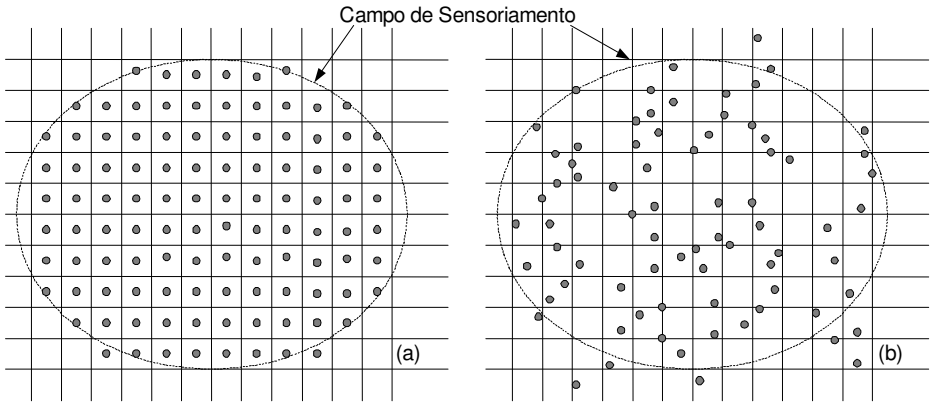

Figura 14 – (a) Distribuição regular (b)Distribuição aleatória

Um dos mecanismos utilizados, para que o consumo de energia seja minimizado, é definir quais os sensores efetivamente participarão da rede e quais permanecerão em repouso (*stand by*). Sensores inteligentes possuem a capacidade de se autoconfigurar avaliando a sua conectividade com a rede e decidindo a sua participação na topologia, que abrangerá a área de estudo. Esse mecanismo não apenas aumenta a vida útil da rede, como, também, reduz a quantidade de informações redundantes capturadas na região, conforme ilustrado na figura 15, onde apenas os nós 2,5 e 7 estão ativos. Caso todos os sensores sejam utilizados simultaneamente, haverá possibilidade de transmissões simultâneas provocando colisões e, conseqüentemente, retransmissões gerando um consumo ainda maior de energia. Entretanto, caso a aplicação necessite maior precisão na medição, a redundância pode ser utilizada para tal e na definição da sub-região deve-se considerar a quantidade de energia gasta para transmissão.

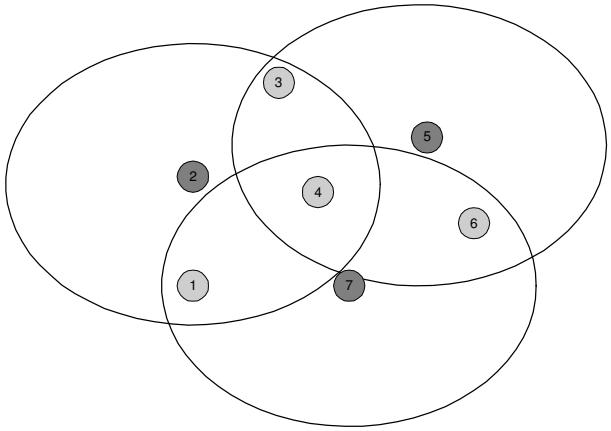

Figura 15– Densidade necessária de acordo com a qualidade desejada

Além de considerar a economia de energia, esses mecanismos de auto-organização devem garantir a operação da rede mesmo que algum sensor apresente falha: quebra física, término da energia, fora de alcance, etc., ou perca a capacidade de transmissão dos dados devido à quebra do enlace a ser seguido pela informação. Exemplos desses mecanismos podem ser encontrados na literatura [1] ,[2] e [12].

2.3.2 Agregação de dados

Outro mecanismo utilizado para aumentar a vida útil da rede baseia-se no fato que a energia consumida no processamento é muito menor do que a consumida em uma transmissão. Foi observado que a energia consumida na execução de 3000 instruções é a mesma que enviar via rádio apenas um bit a 100 metros [5][7]. Assim sendo, entre a coleta da informação e a entrega dos dados coletados, alguns sensores intermediários deverão ter a capacidade de processamento a fim de agregar os dados, diminuindo dessa forma a quantidade de dados transmitidos na rede e, conseqüentemente reduzindo o consumo de energia nas transmissões. A agregação é realizada de forma distribuída nos sensores da rede iniciando pelo nó coletor, passando pelos nós intermediários até alcançar o nó *sink*. O grau de agregação aumenta nos nós periféricos em direção aos nós *sinks*. O processamento no interior da rede (*in network*), objetivando a agregação reduz a quantidade de dados transmitidos, minimiza o consumo de energia e, conseqüentemente, aumenta a vida útil de todo o sistema [14]. A agregação pode ser uma sumarização da informação ou uma simples compressão. Para alcançar o objetivo de economia de energia, a agregação deve ser executada de forma controlada e organizada. Uma das formas utilizadas para essa organização consiste em configurar a rede em grupos.

2.3.3 Agrupamento (Clustering)

Normalmente, a comunicação entre os nós mais distantes do nó *sink* ocorre em múltiplos saltos (*multi-hop*), conforme esquematizado na figura 16. Essa característica se deve ao fato de que a interface de rádio dos sensores tem alcance bastante limitado em função da necessidade de economizar energia.

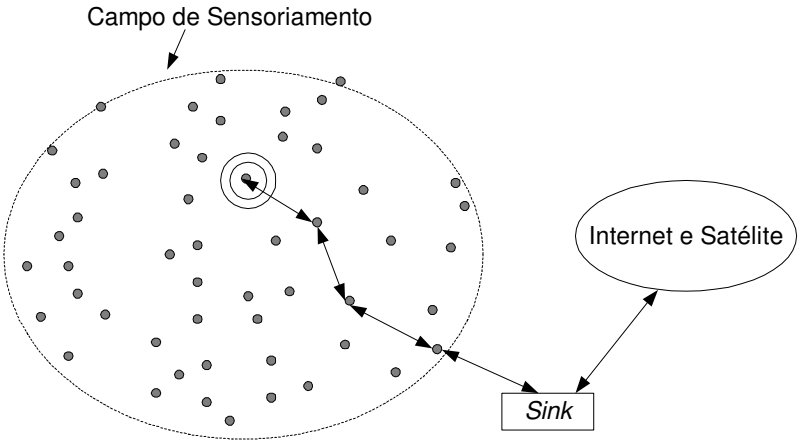

Figura 16- Comunicação em múltiplos saltos

A topologia lógica é classificada em plana ou hierárquica. Em topologia plana a comunicação dos nós ocorre de forma onde todos os nós podem se comunicar entre si. Em uma rede de sensores sem fio que utiliza uma topologia hierárquica, os sensores formam grupos (*clusters*) com a definição de um nó líder (*clusterhead*). Cada nó líder contém os dados dos sensores do seu grupo, agregando-os e enviando-os para uma estação base, *sink*, ou para outro nó líder de nível responsável por um grupo hierárquico de nível superior, conforme ilustrado na figura 17.

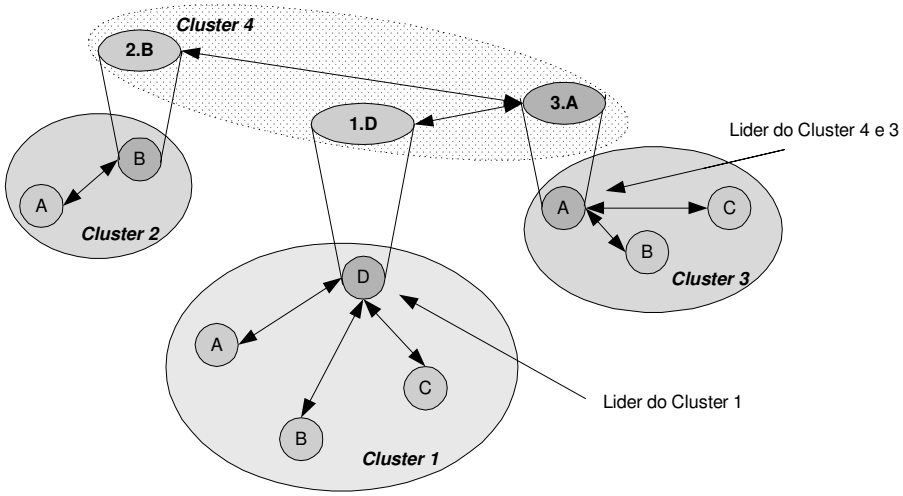

Figura 17- Topologia hierárquica

Essa topologia alcança o objetivo de economizar energia devido as seguintes características [9]: (i) os sensores comunicam-se somente com o seu nó líder, sendo possível assim reduzir a potência do sinal transmitido; (ii) somente os nós lideres irão executar agregação dos dados, reduzindo o processamento dos outros nós membros; (iii) os sensores do mesmo grupo, por possuírem informações similares, possibilitam ao nó líder realizar a agregação de forma mais eficiente; (iv) somente o nó líder necessita conhecer o caminho para atingir o nó líder do grupo hierárquico superior ou a estação base, *sink*, reduzindo a complexidade no cálculo das rotas; (v) dependendo do esquema de transmissão de dados adotado e do nível de redundância dos dados coletados, o nó líder pode coordenar o desligamento e ligamento de nós membros.

Esse esquema implica em um maior consumo de energia por parte dos nós lideres, devido a maior complexidade e quantidade de tarefas que devem ser executadas. Para que o consumo de energia dos nós ocorra de forma igualitária entre os nós, incluindo nós lideres e membros dos grupos, há necessidade de implementar protocolos que permitam o rodízio periódico dos nós lideres entre os membros do grupo (*cluster period*).

2.3.4 Tipos de aplicações

Uma vez definido quais os sensores estarão ativos na rede durante a fase auto-organização, faz-se necessário conhecer a forma como os dados serão enviados ao nó *sink e que* depende

do tipo de aplicação utilizada: aplicações de monitoramento periódico, por evento e por requisição.

Para aplicações que adotam o modelo periódico de monitoramento, os sensores continuamente capturam os dados na sub-região e envia-os ao nó *sink*. Entretanto, esse modelo pode congestionar a rede, pois esta pode ser submetida a um alto tráfego devido à periodicidade do envio de dados. Assim a utilização de agrupamento de sensores, *clusters*, pode ser uma opção a ser considerada na topologia utilizada para esse tipo de transmissão de dados.

Em aplicações que utilizam o modelo de acionamento por evento, o envio dos dados pelos sensores somente é efetuado quando um evento ocorre pois seu valor ultrapassa limiares previamente estabelecidos. Por último, as aplicações que adotam o modelo por requisito consistem no envio dos dados somente por solicitação da aplicação e por intermédio do nó *sink* [4], [5], [7] e [15].

2.4 Considerações finais

Neste capítulo, foram apresentados os conceitos básicos necessários para o entendimento do protocolo de acesso ao meio sem fio e, as particularidades da rede de sensores sem fio. Foi descrita de uma forma resumida a diferença entre protocolos baseados em contenção e protocolos sem contenção com acesso ordenado, e sua evolução. Em seguida, foram abordados os padrões definidos para uma rede sem fio, enfatizando a implementação de técnicas utilizadas para a economia de energia. Por último, foi apresentado as principais características de uma rede de sensores sem fio.

As redes de sensores sem fio caracterizam-se por ser uma rede formada por nós que se comunicam não usando uma infra-estrutura física (via rádio) e sem coordenação centralizada (ad-hoc). Devido a essas características, a utilização do protocolo da subcamada MAC, definido pelo IEEE802.11 com a Função de Coordenação Distribuída (DCF) juntamente com o suporte à fragmentação e a economia de energia, estão sendo explorados, com algumas alterações na sua implementação. Outras propostas são baseadas no padrão *Bluetooth*, também, alterando a implementação nos seus modos de energia. O capítulo seguinte apresentará alguns desses protocolos.

3 PROTOCOLOS MAC ORIENTADOS A ECONOMIA DE ENERGIA

Para uma rede de sensores sem fio, os protocolos da subcamada MAC são projetados para compartilhar eficientemente os recursos da rede, considerando a importante missão de ser eficiente em termos de consumo de energia. As principais fontes desperdiçadoras de energia têm origem nas colisões, nas escutas inúteis [10, 32] e na necessidade de transmissões de quadros de controle. As colisões, além de causarem um consumo de energia adicional devido à necessidade de retransmissão, aumentam a latência na entrega dos quadros e desperdiçam a banda dos enlaces.

As escutas inúteis possuem duas origens: quadros endereçados a outros nós e a espera de quadros que nunca chegam. A escuta inútil denominada *overhearing*, consiste no recebimento de quadros que não são endereçados a ele próprio, consumindo energia desnecessariamente. Outra escuta inútil, nomeada *idle*, caracteriza-se pela permanência dos rádios dos sensores ligados aguardando o recebimento de quadros que nunca são recepcionados. Essa escuta contínua dos sensores, é uma das fontes de maior consumo de energia conforme descrito em [6,7], onde é apresentada uma relação entre os três tipos de fontes de desperdício - espera (*idle*): recepção (*receive*): transmissão (*send*) - correspondendo a 1:1,05:1,4 [6] ou 1:2:2,5 [7], dependendo da implementação da interface de rádio.

Sendo o meio sem fio propenso a uma alta taxa de erros, o receptor necessita enviar quadros de controle de confirmação positivo/negativo, ACK/NACK com o intuito de tornar a comunicação confiável. São necessários outros quadros de controle, RTS/CTS, para a detecção virtual de ocupação do canal, e para resolver o problema de estações escondidas. Esses quadros de controle geram um maior número de transmissões e, conseqüentemente, um maior consumo de energia nas fontes desperdiçadoras de energia mencionadas anteriormente, pode-se afirmar que os protocolos baseados em contenção e na divisão de canal e na passagem de permissão devem ser alterados de forma a tornarem-se adequados para rede de sensores sem fio.

Os protocolos baseados em contenção não evitam as fontes de desperdício de energia provocadas por colisões, pelas escutas *Idle* e *Overhearing*. Apesar do padrão IEEE-802.11 [15] implementar um modo de economia de energia, utilizando a janela ATIM, ainda ocorre desperdício, pela necessidade de todas as estações necessitarem ficarem acordadas durante

toda a duração da janela ATIM. Algumas propostas de alterações nesse modo de economia de energia foram feitas para torná-lo mais adequado às restrições de economia de energia das redes de sensores sem fio.

A utilização dos métodos de divisão de canal em rede de sensores sem fio depende do tipo da aplicação na qual está inserida, pois pode ocorrer desperdício de banda quando algum sensor não possui dados a transmitir. Esses métodos são talhados para aplicações de monitoramento, onde às informações são sensoriadas e transmitidas continuamente.

Os métodos baseados em passagem de permissão não são adequados para redes de sensores, pois o desperdício de energia é provocado pela necessidade de todos os sensores estarem ativos aguardando o convite da estação central a transmitir seus dados ou da capturar do quadro de permissão (*token*). Adicionalmente, ocorre desperdício de energia durante o período de escuta (*Idle*) e pela recepção de quadros não destinados a ele próprio (*overhearing*).

Na próxima seção são descritos os protocolos propostos para o controle de acesso ao meio em redes que consideram a energia como seu principal recurso. Em seguida são apresentadas as considerações finais do capítulo.

3.1 PAMAS (Power Aware Multi-Access)

Para atingir seu principal objetivo de economia de energia, PAMAS [25] propõe a existência de um canal exclusivo de sinalização, além de um canal de dados. A proposta do PAMAS é evitar o consumo de energia pela escuta inútil de quadros enviados para outro nó *(overhearing)* através do desligamento do rádio dos nós que não possuem dados a serem transmitidos e nem recebidos ou quando o canal de dados encontra-se ocupado. No canal de sinalização apenas os quadros RTS, CTS, canal ocupado e quadros de investigação são transmitidos, enquanto que no canal de dados só são permitidos quadros de dados. Um ponto a favor da abordagem de desligamento dos nós é que esta é feita de forma a não influenciar o retardo dos quadros de dados e, também, a vazão da rede.

O funcionamento do PAMAS pode ser descrito através de seis estados operacionais que cada nó pode operar: *Idle, AwaitCTS, BEB (Binary Exponential Backoff), Await Packet, Receive Packet e Transmit Packet*. Inicialmente, quando um nó se encontra no estado de repouso (*Idle*) e possui um quadro a transmitir, ele envia uma mensagem RTS *(request to send)* e

aguarda um CTS(*clear to send*). Nesse momento, esse nó transmissor entra no estado *AwaitCTS*.

O nó transmissor ao receber um quadro CTS proveniente do nó receptor, inicia a transmissão do quadro no canal de dados passando para o estado *Transmit Packet*. Caso o nó transmissor não receba o quadro CTS, dispara o processo de *backoff* para o reenvio do RTS, entrando no estado *BEB*. Nesse estado operacional, RTS´s provenientes de outros nós provocam a interrupção do processo de *backoff*, para o atendimento dessa solicitação de recepção de quadros de dados. Caso possível, isto é, o RTS é destinado a esse nó em questão, é enviado o quadro CTS *(clear to send)* e o nó entra no estado *Await Packet*.

O nó receptor pode receber um quadro RTS em qualquer um dos seis estados operacionais. Nos estados *Receive Packet, Await Packet* e *Transmit Packet*, a solicitação será ignorada. Nos estados *BEB,* onde o processo de *backoff* é abortado e *Await CTS,* o quadro CTS é enviado caso seja possível, isto é, caso o RTS é destinado a esse nó em questão. O nó receptor passa, então, para o estado *Await Packet*. No estado *Idle,* caso o canal de dados esteja inativo ou não tenha ruído no canal de controle, o CTS é enviado, passando o nó receptor para o estado *Await Packet*. Um canal de dados está inativo quando não existe nenhum nó vizinho no estado *Transmit Packet*, enquanto que um canal de controle sem ruído indica que não existe nó vizinho no estado *AwaitCTS*.

Ao iniciar o recebimento dos quadros, o nó receptor altera seu estado de *Await Packet* para *Receive Packet* e transmite o quadro de canal ocupado no canal de sinalização. Colisão de quadros de controle pode ocorrer intencionalmente ou não, causando ruído. Para garantir que nenhum nó utilize o canal de dados, o nó receptor, durante a recepção de um quadro de dados, transmite um quadro de canal ocupado caso escute um RTS (*request to send*) ou algum ruído no canal de sinalização. O envio do quadro de canal ocupado garante a ocorrência de colisão no canal de sinalização caso quadros de controle estejam sendo transmitidos por nós vizinhos. Desta forma, evita-se que transmissões em curso no canal de dados sejam afetadas.

ERROR: syntaxerror
OFFENDING COMMAND: %ztokenexec_continue

STACK:

-filestream-