



UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

CAMPUS DE CURITIBA

DEPARTAMENTO DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA E
INFORMÁTICA INDUSTRIAL - CPGEI**

CHRISTIAN CARLOS SOUZA MENDES

**GERENCIAMENTO DE RECURSOS EM
REDES SEM FIO IEEE 802.11**

CURITIBA

MAIO - 2008

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

CHRISTIAN CARLOS SOUZA MENDES

**GERENCIAMENTO DE RECURSOS EM
REDES SEM FIO IEEE 802.11**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do título de Mestre, do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica e Informática Industrial, Área de Concentração em Telemática, do Departamento de Pesquisa e Pós-Graduação, do Campus de Curitiba, da UTFPR.

Orientadora: Profa. Anelise Munaretto
Fonseca, Dra

CURITIBA

MAIO/2008

Agradeço a Deus pela minha vida.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus, por tudo que provê em minha vida, nunca deixando faltar nada e sempre abrindo oportunidades a minha frente.

A minha família por todo o amor destinado a mim, pelo apoio e incentivo para a realização do Mestrado.

A Nadia Al-Bdywoui minha noiva, pelo seu amor e apoio incondicional, mesmo eu estando ausente em diversos momentos.

Aos meus grandes amigos Diogo, Rafael e Felipe, por sempre colaborarem nos momentos difíceis.

Aos meus colegas do LASD e do Departamento de Informática da UTFPR que sempre me apoiaram e ajudaram nas mais diversas situações.

À minha orientadora por todo conhecimento que me passou, pela ajuda e amizade destinados a mim, além de toda a paciência e colaboração para que fosse possível a realização do objetivo de ser um Mestre.

Ao Professor Mauro Fonseca, pela amizade e grandes contribuições ao trabalho.

À Professora Keiko Verônica Ono Fonseca, pela importante colaboração para o desenvolvimento da dissertação, além de todo seu esforço para ajudar na realização deste sonho.

Aos professores do CPGEI, que sempre me incentivaram e colaboraram para realização do meu objetivo de concluir o Mestrado. Isto sem contar os nossos bate papos nos corredores.

À agência financiadora CAPES, pelo auxílio material.

RESUMO

As redes sem fio ou redes *wireless* como são conhecidas atualmente, estão sendo cada vez mais utilizadas em ambientes corporativos e também residenciais, devido à facilidade da sua implantação e seu baixo custo. Diferentemente de uma rede cabeada, existem diversos problemas relacionados ao meio no qual as transmissões ocorrem, por esse não ser restrito e nem protegido de interferências. Diversos estudos descrevem problemas existentes, como interferências, perda de desempenho e segurança. Quando duas ou mais estações estão conectadas a mesma rede sem fio mas possuem taxas de transmissão diferentes, como 11 Mbps e 54 Mbps, uma degradação na vazão geral da rede pode ocorrer pelo fato da estação que possui uma taxa de transmissão menor utilizar mais tempo para enviar a mesma quantidade de dados que a outra estação. Este trabalho apresenta uma proposta para solucionar o problema gerado pela utilização simultânea de taxas de transmissão diferentes em uma rede sem fio. Através da classificação das estações clientes, é possível realizar o gerenciamento dos recursos disponíveis na rede sem fio, limitando o tempo que as estações poderão utilizar o meio para realizar suas transmissões. Para a validação da proposta, foram realizados diversos experimentos que comprovam a eficiência da solução.

Palavras-chave: Redes sem fio, Desempenho, RTS/CTS, 802.11

ABSTRACT

Resource Management in IEEE 802.11 WLANs

Wireless networks have been increasingly adopted in enterprise and also in residential environments, due its easy deployment and low cost. Different from wired networks, wireless transmissions are not granted. There are several problems related to the medium in which transmissions occur, which is not restricted and nor protected from interference. Several studies described these problems, such as interference, loss of performance, safety. One example is when two or more stations are connected to the same wireless network, but at different transmission speeds as 11 Mbps and 54 Mbps, causing a deterioration of the network throughput. One reason the slower station spends more time to send the same amount of data than the faster station. This work presents a proposal to solve the problem created by simultaneous transmissions at different rates to access a wireless network. Through station classification, it is possible to manage the available resources in the wireless network, limiting the time stations can use the channel to accomplish their transmissions. For the proposal validation, several experiments have been conducted to evaluate the solution's efficiency.

Keywords: wireless networks, performance, RTS/CTS, 802.11

SUMÁRIO

RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xi
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS	xii
1 INTRODUÇÃO.....	13
1.1 Motivação.....	13
1.2 Objetivos	14
1.3 Estruturação.....	15
2 Mecanismos de acesso ao meio do IEEE 802.11.....	17
2.1 Introdução	17
2.2 Arquitetura.....	18
2.2.1 BSS Independentes	19
2.2.2 BSS Infra-Estrutura.....	19
2.3 Mecanismo de Detecção de Portadora – CSMA.....	20
2.4 Quadros	21
2.4.1 Camada de Enlace	23
2.5 Espaços de Tempo entre Quadros	27
2.6 Função de Coordenação Distribuída do Protocolo 802.11 (DCF).....	28
2.6.1 Esquema de Backoff Exponencial	29
2.6.2 Mecanismo de Acesso ao Meio	30
2.6.3 Mecanismo de Acesso ao Meio com RTS/CTS	31
2.7 Problemas inerentes ao mecanismo	34
3 Mecanismos de Qualidade de serviço	39
3.1 Token-Bucket.....	43
3.2 Algoritmos de Escalonamento.....	45
3.3 Serviços Diferenciados (<i>DiffServ</i>)	46
3.4 Gerenciamento baseado em Políticas (PBM)	47
4 Revisão de literatura.....	50

4.1	<i>Performance analysis under finite load and improvements for multirate 802.11</i>	50
4.2	<i>Fair Time Sharing: the Cure for the Performance Anomaly of 802.11b</i>	51
4.3	<i>Eliminating the Performance Anomaly of 802.11b</i>	52
4.4	<i>Dynamic Packet Aggregation to Solve Performance Anomaly in 802.11 Wireless Network</i>	53
4.5	<i>Seleção Dinâmica de Parâmetros de QoS na Resolução da Anomalia de Performance do IEEE 802.11b</i>	53
4.6	<i>Lessening VoIP capacity degradation in 802.11 networks with a measurement-based channel-aware scheduler</i>	54
4.7	<i>Resolving 802.11 Performance Anomalies through QoS Differentiation</i>	55
4.8	<i>Conclusão das propostas</i>	57
5	<i>Extensão do Mecanismo de RTS/CTS para Otimização de Desempenho em Redes Sem Fio</i>	59
5.1	<i>Classes de parâmetros de serviço</i>	61
5.2	<i>Elementos da Arquitetura Proposta</i>	63
5.3	<i>Funcionamento</i>	66
5.4	<i>Avaliação de Desempenho</i>	68
5.5	<i>Resultados da Implementação</i>	75
	<i>Conclusão</i>	86
	<i>REFERÊNCIAS</i>	88

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1– RELAÇÃO ENTRE AS CAMADAS DO MODELO OSI/ISO E AS SUBCAMADAS DO PADRÃO IEEE 802.11.....	17
FIGURA 2-2- REDE EM MODO <i>AD-HOC</i> [2].....	19
FIGURA 2-3– MODO INFRAESTRUTURA [2].....	20
FIGURA 2-4 – CABEÇALHOS DA CAMADA PLCP [5].....	22
FIGURA 2-5 – QUADRO DA SUBCAMADA MAC	24
FIGURA 2-6 – CAMPOS DE CONTROLE DE QUADRO.....	24
FIGURA 2-7 – QUADRO DE RTS [5].....	26
FIGURA 2-8 – QUADRO DE CTS [5].....	27
FIGURA 2-9 – ESPAÇOS DE TEMPO ENTRE QUADROS.....	28
FIGURA 2-10 – REPRESENTAÇÃO DO BACKOFF UTILIZANDO MECANISMO DIRECT SEQUENCE (DSSS) PARA TRANSMISSÃO [5].....	29
FIGURA 2-11 – FUNCIONAMENTO DO MECANISMO DCF	31
FIGURA 2-12 – ESTAÇÃO OCULTA [17].....	32
FIGURA 2-13 – MECANISMO RTS/CTS [5]	33
FIGURA 2-14 – TRANSMISSÃO DE UM QUADRO [1]	35
FIGURA 2-15 – ESTAÇÕES COM TAXAS DE TRANSMISSÃO DIFERENTES EM UM MESMO BSS.....	37
FIGURA 2-16 - DEGRADAÇÃO GERADA PELO ACESSO AO MEIO DE ESTAÇÕES COM TAXAS DE TRANSMISSÃO DIFERENTES. [40].....	38
FIGURA 3-1– REPRESENTAÇÃO DO ALGORITMO DE TOKEN BUCKET [38].....	44
FIGURA 3-2 – CAMPOS DS DO CABEÇALHO DO INTERNET PROTOCOL.....	47
FIGURA 3-3 – REPRESENTAÇÃO DO GERENCIAMENTO BASEADO EM POLÍTICAS [16]	49
FIGURA 4-1 – ARQUITETURA <i>FAIR TIME SHARING</i> [19].....	51
FIGURA 5-1 - ARQUITETURA DO MECANISMO PROPOSTO. [3]	60
FIGURA 5-2 – DIAGRAMA DA SOLUÇÃO PROPOSTA	65
FIGURA 5-3 – REPRESENTAÇÃO DO AMBIENTE DE TESTES	69
FIGURA 5-4 – VAZÃO ATINGIDA DEVIDO A VARIAÇÃO NAS TAXAS DE TRANSMISSÃO	70

FIGURA 5-5 – TESTE DE ADERÊNCIA ENTRE OS RESULTADOS EM AMBIENTE REAL E COM SIMULADOR.....	72
FIGURA 5-6 – VAZÃO DE UMA ESTAÇÃO COM RTS/CTS ATIVO	73
FIGURA 5-7 – VAZÃO EM MBPS EM RELAÇÃO AO RTS/CTS	74
FIGURA 5-8 - VAZÃO DE DUAS ESTAÇÕES, SENDO UMA EM MOVIMENTO.	76
FIGURA 5-9 – UTILIZAÇÃO DO RTS/CTS COM UMA ESTAÇÃO VARIANDO A TAXA DE TRANSMISSÃO	77
FIGURA 5-10 – DUAS ESTAÇÕES UTILIZANDO O MECANISMO PROPOSTO.	78
FIGURA 5-11 – TRÊS ESTAÇÕES CONECTADAS A REDE, UTILIZANDO RTS/CTS.....	79
FIGURA 5-12 – TRÊS ESTAÇÕES UTILIZANDO O MECANISMO PROPOSTO	80
FIGURA 5-13 – UTILIZAÇÃO DE CINCO ESTAÇÕES ATRAVÉS DO MECANISMO RTS/CTS.....	81
FIGURA 5-14 – UTILIZAÇÃO DO MECANISMO PROPOSTO COM CINCO ESTAÇÕES NA REDE.....	81
FIGURA 5-15 – UTILIZAÇÃO DE UMA REDE SEM FIO CONTENDO DEZ ESTAÇÕES COM RTS/CTS.	83
FIGURA 5-16 – UTILIZAÇÃO DO MECANISMO PROPOSTO UTILIZANDO DEZ ESTAÇÕES NA REDE.....	84

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – DURAÇÃO DO ESPAÇAMENTO ENTRE QUADROS EM μ S PARA O PADRÃO 802.11 [9]	28
TABELA 2 – DEMONSTRAÇÃO DA EFICIÊNCIA DO PADRÃO. [19].....	35
TABELA 3 – DEMONSTRAÇÃO DA UTILIZAÇÃO DO TEMPO PARA TRANSMISSÃO DE UM PACOTE DE DADOS COM PAYLOAD DE 1472 BYTES. [2]	37
TABELA 4– PRINCIPAIS DIFERENÇAS ENTRE AS PROPOSTAS ANALISADAS.	57
TABELA 5– TAXA DE TRANSMISSÃO DE UMA ESTAÇÃO SEM A UTILIZAÇÃO DO RTS/CTS	71
TABELA 6 – TAXA DE TRANSMISSÃO DE UMA ESTAÇÃO UTILIZANDO RTS/CTS	73
TABELA 7 – COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO COM RTS/CTS ATIVADO E DESATIVADO	74
TABELA 8 – TABELA ATUALIZADA CONTENDO AS PROPOSTAS ANALISADAS COM A INCLUSÃO DA PROPOSTA DA DISSERTAÇÃO.....	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

802.11	- Padrão destinado a rede sem fio
ACK	- Acknowledgment code
AIFS	- Arbitration Inter Frame Space
BER	- Bit Error Rate
BSS	- Basic Service Set
BSA	- Basic Service Area
CRC	- Cyclic Redundancy Check
CSMA/CA	- Carrier sense multiple access with collision avoidance
CSMA/CD	- Carrier sense multiple access with collision detection
CTS	- Clear to Send
CW	- Contention Window
DCF	- Distributed Coordination Function
DIFS	- DCF inter-frame space
DSCP	- Differentiated Services Code Point
EIFS	- Extended inter-frame space
FCS	- Frame Check Sequence
ICMP	- Internet Control Message Protocol
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers
IETF	- Internet Engineering Task Force
IFS	- Inter-frame Space
IP	- Internet Protocol
Iperf	- Software para análise de Desempenho
ISM	- Industrial, scientific and medical radio bands
ISO	- International Standards Organization
ISP	- Internet Service Provider
MAC	- Media Access Control
MSS	- Maximum Segment Size
MTU	- Maximum Transmit Unit
NAV	- Network Allocation Vector
OSI	- Open Systems Interconnection
PBM	- Policy-Based Management
PCF	- Point Coordination Function
PIFS	- PCF inter-frame space
PHB	- Per Hop Behaviors
PLCP	- Physical Layer Convergence Procedure
RSVP	- Resource Reservation Protocol
RTS	- Request to Send
SIFS	- Short inter-frame space
SSID	- Service Set Identifier
TCP	- Transmission Control Protocol
UDP	- User Datagram Protocol
VoIP	- Voice over IP
WLAN	- Wireless lan

1 INTRODUÇÃO

1.1 Motivação

Com a adoção das redes de computadores nas empresas criou-se, a necessidade de se ampliar o alcance geográfico destas redes. Com isto seus colaboradores poderiam usufruir dos serviços disponibilizados pela empresa e agilizar assim a realização de suas tarefas. Uma forma de se ampliar este limite é através da utilização de *Wireless Local Area Networks (WLANs)*.

As *WLANs* procuram satisfazer os mesmos requisitos de uma rede de acesso cabeada, incluindo alta capacidade, disponibilidade de diversos serviços aos usuários, mínimo atraso, entre outros, através do baixo custo e facilidade de implementação.

Entretanto, para alcançar seus objetivos, as *WLANs* devem ser projetadas considerando possíveis dificuldades inerentes ao ambiente sem fio, tais como instabilidade e insegurança da interface sem fio, limitação no consumo de energia das estações móveis, mobilidade restrita e limitações da taxa de transmissão [1].

Atualmente, o padrão mais utilizado pelo mercado para *WLANs* é o IEEE 802.11 [2], e suas extensões como 802.11a [10], 802.11b [11], 802.11g [12], 802.11n [13], entre outras.

Vários estudos foram realizados com o intuito de analisar as vantagens e desvantagens da utilização das redes sem fio [1,3,7,13], abordando também possíveis métodos ou mecanismos para evitar ou reduzir os problemas inerentes a sua utilização.

A principal vantagem existente na utilização de redes *WLANs* é a mobilidade, mesmo que restrita, permitida às estações que formam a rede, possibilitando que o usuário se movimente na área de cobertura da rede permanecendo conectado.

Alguns problemas existentes na utilização das redes sem fio decorrem principalmente devido a característica de interoperabilidade e versatilidade [1]. Tais características são positivas se considerados os aspectos de liberdade e compatibilidade entre versões, mas podem também ser consideradas negativas quando o objeto da análise é o desempenho da rede sem fio.

Algumas das principais dificuldades encontradas na utilização das redes sem fio devem-se à movimentação de estações dentro da área de cobertura, diferenças entre as taxas de transmissão utilizadas pelas estações sem fio que compõem a mesma rede, interferências sofridas durante a transmissão ou recepção, além da indisponibilidade e segurança na transmissão de dados. Os problemas das redes sem fio estão relacionados com a degradação do nível de sinal, interferência no local onde a rede se encontra, mobilidade das estações, características do método de acesso ao meio, além da quantidade simultânea de usuários utilizando a rede [1]. Diversos estudos [1,19,26,27] discutem os problemas gerados pela utilização conjunta de estações que possuem taxas de transmissão diferentes. Por exemplo, a degradação gerada pela utilização de interfaces com padrão IEEE 802.11b a pontos de acesso com padrão IEEE 802.11g.

Deste modo, esta dissertação foca no estudo do uso da tecnologia de comunicação sem fio, baseada no padrão IEEE 802.11 e o comprometimento gerado pela variação de taxa de transmissão das estações sem fio. Nesta dissertação o termo “rede sem fio” se refere somente as redes baseadas no padrão IEEE 802.11 e suas variantes.

1.2 Objetivos

Esta dissertação propõem estabelecer um gerenciamento adaptativo dos recursos disponibilizados pela rede sem fio, limitando a quantidade de recursos disponíveis para cada estação conectada a rede. O uso dos recursos deverá ser baseado em um conjunto de políticas pré-definidas pelo administrador da rede junto ao ponto de acesso. Este gerenciamento deverá propiciar o aumento do desempenho geral da rede.

Neste trabalho define-se desempenho geral da rede (D_G) como:

Seja Δt o intervalo de tempo entre t_0 e t_1

Seja Th_i a vazão da estação i , onde i é o identificador de uma estação tal que $1 \leq i \leq N$ e N o número máximo de estações na rede, medida como:

$$Th_i = \frac{\text{bits transmitidos por } i}{\Delta t}$$

Δt

Então:

$$D_G = \sum_{i=1}^N Th_i$$

1.3 Estruturação

Esta dissertação está organizada da seguinte forma:

O capítulo 2 trata dos Mecanismos de acesso ao meio do IEEE 802.11. Neste capítulo são apresentadas as principais características do padrão IEEE 802.11, relacionados ao seu modo de funcionamento, além de descrever alguns problemas intrínsecos ao padrão.

No capítulo 3 são abordados os Mecanismos de Qualidade de Serviço. São detalhados alguns mecanismos existentes para auxílio na implementação de qualidade de serviço nas redes de computadores.

O capítulo 4 apresenta a Revisão da Literatura. São analisadas propostas para evitar problemas gerados nas redes sem fio devido à interoperabilidade entre estações com taxas de transmissão diferentes, com o intuito de reduzir o impacto que as estações com menor taxa de transmissão causam no desempenho geral da rede.

Uma Extensão do Mecanismo de *Request to Send / Clear to Send* (RTS/CTS) [3] para otimização de desempenho em redes sem fio é apresentada no capítulo 5. É proposto um esquema que visa evitar problemas de desempenho de uma rede sem fio em relação à divisão dos recursos, através da adaptação do mecanismo RTS/CTS. É possível inserir classes junto ao ponto de acesso restringindo o tempo de acesso que as estações lentas podem utilizar durante as suas transmissões. Nesse capítulo são discutidos os resultados das simulações realizadas para avaliação da solução proposta.

A Conclusão é apresentada no capítulo 6, onde é analisada a possibilidade de utilização da solução proposta em ambiente real, implementando modificações nos pontos de acesso responsáveis pelas redes sem fio com infra-estrutura. Também são descritos trabalhos futuros, utilizando a solução proposta em outros cenários.

2 MECANISMOS DE ACESSO AO MEIO DO IEEE 802.11

2.1 Introdução

Os padrões IEEE 802 fazem parte de um conjunto de padrões desenvolvidos pela IEEE, instituição responsável pela especificação e padronização nas áreas de elétrica, eletrônica e de computação. O padrão IEEE 802.11 [2] pode ser definido como o padrão de redes sem fio *de facto*.

A primeira versão do padrão IEEE 802.11 foi definida em 1997, permitindo a propagação inicial de soluções utilizando as redes sem fio. Problemas em relação à taxa de transmissão, restritas a 1 e 2 Mbps, eram os maiores obstáculos para a adoção de tal tecnologia. Posteriormente modificações na camada física permitiram que as taxas de transmissão chegassem a 54 Mbps. Assim, em 1999, as redes sem fio começaram a ser amplamente utilizadas devido à facilidade de implantação e suas altas taxas de transmissão.

A primeira versão especifica a faixa de freqüência de 2.4 GHz. Esta faixa pertence às faixas de freqüências disponíveis para utilização sem necessidade de licenciamento, utilizadas em pesquisas nas áreas da indústria, ciência e medicina, conhecidas como *Industrial, scientific and medical radio bands (ISM)* [5].

A especificação do padrão IEEE 802.11 refere-se às camadas física e a camada de enlace restrita a sub-camada especificada no padrão IEEE 802.11 como *Media Access Control (MAC)* [4], conforme apresentado na Figura 2.1.



Figura 2-1– Relação entre as Camadas do Modelo OSI/ISO e as subcamadas do padrão IEEE 802.11

A camada física especificada no padrão IEEE 802.11 não é objeto de estudo desta dissertação. O funcionamento e as principais características desta camada podem ser estudadas. [5, 6, 17].

Dentre as principais modificações realizadas nas camadas física e de enlace, em relação às redes cabeadas existentes no padrão IEEE 802.11, podemos citar a sub-camada MAC, responsável pela definição do mecanismo de acesso ao meio. Esse é baseado no CSMA/CA (Carrier Sense Multiple Access – Collision Avoidance) [8].

Os mecanismos de acesso ao meio, definidos pelo padrão IEEE 802.11 são o DCF (*Distributed Coordination Function*), mecanismo padrão no qual as estações devem competir entre si para obter acesso ao meio (*contention mode*) e o PCF (*Point Coordination Function*) baseado na centralização de acesso, através do qual o ponto de acesso é responsável por realizar *polling* junto as estações da rede (*contention free-mode*), verificando qual estação deseja realizar a transmissão e deste modo evitando que as estações disputem entre si [5].

Os mecanismos de acesso ao meio podem ser utilizados em conjunto, conforme a especificação definida no padrão IEEE 802.11.

2.2 Arquitetura

A arquitetura do IEEE 802.11 possui vários componentes que interagem entre si para prover o serviço de uma rede sem fio com suporte à mobilidade das estações dentro de uma determinada área de cobertura.

O conjunto de serviços básicos, o BSS (*Basic Service Set*) é a parte essencial da arquitetura do 802.11. Um BSS é definido como um grupo de estações que estão sob o controle direto de uma coordenação, que determina quando uma estação pode transmitir e receber dados.

No 802.11 existem dois tipos de redes sem fio [17]: BSS Independente(ou *ad-hoc*) e BSS Infra-estrutura. Na utilização da rede independente, as estações são responsáveis por disponibilizar funcionalidades de gerenciamento do acesso ao meio, área de cobertura da rede entre outros. Já em uma rede com infra-estrutura, o ponto de acesso é responsável por grande parte das funcionalidades da rede, além

da possibilidade de interligação entre os pontos de acesso permitindo a criação de um sistema de distribuição.

2.2.1 BSS Independentes

Trata-se da implementação mais simples de uma rede sem fio, onde duas ou mais estações realizam comunicação sem a utilização de um ponto de acesso.

Normalmente este tipo de implementação é conhecida como rede em modo *ad-hoc*. Uma rede *ad-hoc* é composta somente por estações que pertençam ao mesmo BSS e que se comunicam entre si sem a ajuda de uma infra-estrutura. Assim, a estação que necessita realizar a transmissão poderá estabelecer uma comunicação direta com outra estação no BSS sem a necessidade da informação passar por um ponto de acesso centralizado, como representado na Figura 2.2.

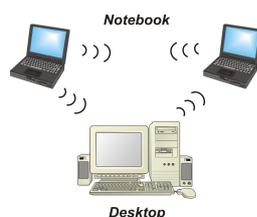


Figura 2-2- Rede em modo *Ad-hoc* [2]

2.2.2 BSS Infra-Estrutura

Este é o principal tipo de implementação realizado, e é caracterizado pela existência de um ponto de acesso responsável pela centralização das transmissões. Conhecido como *access point*, este elemento central é utilizado para a realização de todas as transmissões que ocorrem dentro de um BSS [5], como demonstrado na Figura 2.3.

Assim, quando uma estação da rede sem fio necessita realizar alguma transmissão dentro do mesmo BSS, inicialmente deverá requerer ao ponto de acesso que encaminhe a informação em questão para a estação destino [17].

Através da utilização do ponto de acesso, no BSS é possível que as estações permaneçam em modo de hibernação (*power save mode*), ou seja, desliguem suas interfaces de rede sem fio durante um intervalo de tempo, para economizar energia.

Deste modo é possível que a estação somente ative a sua interface quando o ponto de acesso possuir alguma transmissão para esta estação, ou quando a estação possuir quadros para envio.

No modo infra-estrutura observa-se a criação de uma área de cobertura onde o sinal poderá ser recebido pelas estações da rede sem fio permitindo a comunicação entre os equipamentos do mesmo BSS. O nome destinado para este tipo de solução é BSA (*Basic Service Area*).

Em uma rede em modo infra-estrutura, uma estação móvel que deseja utilizar os serviços oferecidos pelo BSS deve, primeiramente, associar-se ao ponto de acesso para que a partir deste momento possa se beneficiar dos serviços disponíveis [17].

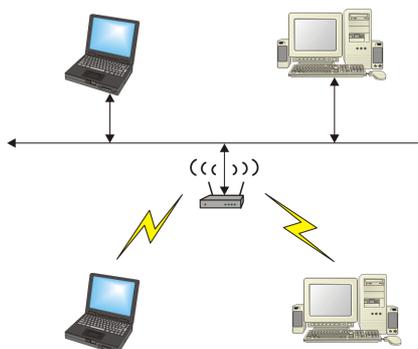


Figura 2-3– Modo Infraestrutura [2]

2.3 Mecanismo de Detecção de Portadora – CSMA

O mecanismo de detecção de portadora possui como principal objetivo a detecção do status atual do meio de acesso, seja através da utilização de uma rede sem fio ou de uma rede cabeada. Para que seja possível a realização de uma transmissão é necessário identificar a disponibilidade do canal e caso esse esteja em uso, é necessário que a estação que deseja transmitir aguarde até que o canal se torne ocioso ou disponível para realizar a transmissão [17].

Para este procedimento existem dois métodos utilizados para realizar a detecção de portadora, detecção física ou virtual [6].

A detecção física da portadora é realizada pela camada física do padrão IEEE 802.11 e através dela os dispositivos existentes na interface de rede verificam as

transmissões existentes provenientes das outras estações que compõem a rede sem fio.

A detecção virtual da portadora é realizada através da utilização da sub-camada MAC existente na camada de enlace. Durante a transmissão dos quadros existe o campo *NAV (Network Allocation Vector)* responsável por informar o tempo estimado em que a transmissão utilizará o canal, para que as outras estações não tentem realizar transmissões. O *NAV* pode ser localizado em quadros de dados e quadros utilizados para a reserva de acesso ao meio.

A estação sem fio utiliza os dois métodos, físico e virtual para a detecção do status da portadora. Deste modo, é necessário que ambos os métodos estejam indicando a ociosidade do canal para que uma transmissão seja realizada.

2.4 Quadros

O padrão IEEE 802.11, permite a utilização de três tipos de quadros a serem transmitidos através da rede: gerenciamento, controle e dados.

Os quadros de gerenciamento são utilizados para associação, desassociação, e autenticação das estações junto ao ponto de acesso, uma necessidade surgida a partir do enlace sem fio e que não existe nas redes cabeadas. Tais quadros contém informações sobre as configurações padrão da camada de enlace, como taxas suportadas, opções de segurança e definições de status da conexão. Toda e qualquer estação que faça parte de uma rede sem fio deverá receber *beacons*, quadros com informações da identificação da rede disponível no ambiente, e através destes quadros identificar o canal usado pela rede sem fio para a transmissão e qual o SSID da rede. Após a detecção de tais informações a estação cliente envia um quadro de associação solicitando a permissão para o ponto de acesso. Após a aprovação pelo ponto de acesso, posteriormente a estação deverá enviar um quadro solicitando sua autenticação na rede.

Os quadros de controle auxiliam na entrega dos quadros de dados e oferecem maior confiabilidade às transmissões. Exemplos desses quadros são os componentes do mecanismo RTS/CTS, a ser explicado na sessão 2.6.3, e o quadro de confirmação ACK.

O quadro RTS é empregado na reserva do canal para quadros maiores que o limiar determinado pelo RTS *Threshold* ou em ambientes em que se observe muito ruído ou estações ocultas. Isso se aplica apenas à quadros de dados, e não à quadros multicast ou broadcast. O quadro CTS é a resposta do ponto de acesso garantindo a reserva do canal, e no padrão 802.11g também é empregado para limitar o acesso de estações de padrão mais antigo. Todas as transmissões são confirmadas com um quadro de ACK enviado pelo ponto de acesso.

Além dos quadros citados, o quadro de dados é utilizado para a transmissão efetiva em si, cuja carga útil é de no máximo 2312 bytes. A definição dos campos de informação utilizados dependem do protocolo e do tipo de serviço empregado.

A Figura 2.4, mostra o cabeçalho inserido junto a cada quadro a ser transmitido. Estas informações são adicionadas pela sub-camada PLCP (*Physical Layer Convergence Procedure*) da camada Física do padrão 802.11.

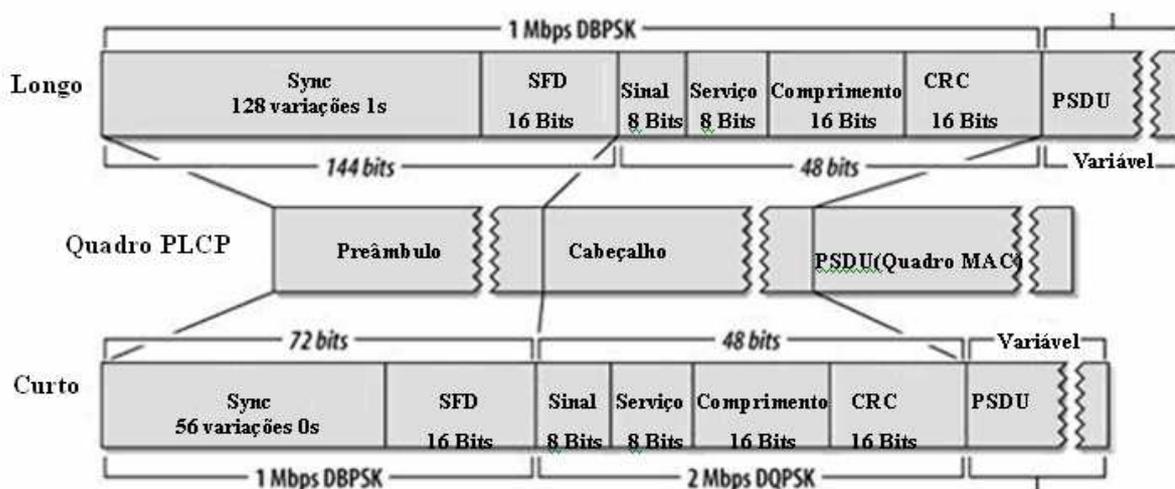


Figura 2-4 – Cabeçalhos da camada PLCP [5]

O preâmbulo é composto pelos campos *Sync* e *Start Frame Delimiter*, atua na sincronização do transmissor e receptor e indica o início do quadro. O cabeçalho carrega informações referentes à camada física que são usadas pelo PLCP, como a taxa em que o quadro está sendo transmitido e a duração da transmissão.

O tamanho do cabeçalho adicionado pela camada PLCP em cada quadro para a realização da transmissão é inversamente proporcional a taxa de transmissão da

estação que está realizando a transmissão. Quando uma transmissão é realizada por uma estação que possui baixa taxa de transmissão, o cabeçalho utilizado pela camada PLCP é longo e é transmitido na menor taxa de transmissão aceita pelo BSS, ou seja os 192 bits referentes ao cabeçalho PLCP são transmitidos a 1 Mbit/s. Isto para permite que todas as estações conectadas na rede sem fio possam identificar a transmissão que está sendo realizada. Desse modo uma estação com baixa taxa de transmissão permanecerá maior tempo mantendo o canal de transmissão bloqueado gerando degradação na vazão geral da rede sem fio.

Caso seja realizada uma transmissão por uma estação com taxa de transmissão maior que 1 Mbit/s o cabeçalho PLCP utilizado será curto (*short PLCP*), sendo apenas 72 bits enviados a 1 Mbit/s e outros 48 bits enviados a 2 Mbit/s, com uma quantidade menor de informações sendo transmitida com taxa de transmissão baixa.

O cabeçalho PLCP curto será utilizado apenas quando todas as estações suportarem tal comunicação. Assim, quando uma estação que suporta apenas a utilização do cabeçalho PLCP longo enviar uma transmissão ao ponto de acesso, receberá uma resposta que também utilizará o cabeçalho PLCP longo, mesmo que o BSS esteja configurado para utilizar cabeçalho PLCP curto [5].

Posteriormente ao envio do cabeçalho PLCP (longo ou curto), o quadro de dados será enviado utilizando a maior taxa de transmissão suportada pela estação. Esta variação em relação ao cabeçalho PLCP pode ser considerada um dos principais motivos pelo qual a utilização conjunta de estações com taxas de transmissão variáveis faz com que exista uma grande degradação na vazão geral da rede sem fio.

2.4.1 Camada de Enlace

O quadro padrão transmitido pelo padrão IEEE 802.11, consiste em um cabeçalho da sub-camada *MAC*, a informação a ser transmitida no corpo do quadro e o campo *FCS (Frame Check Sequence)*.

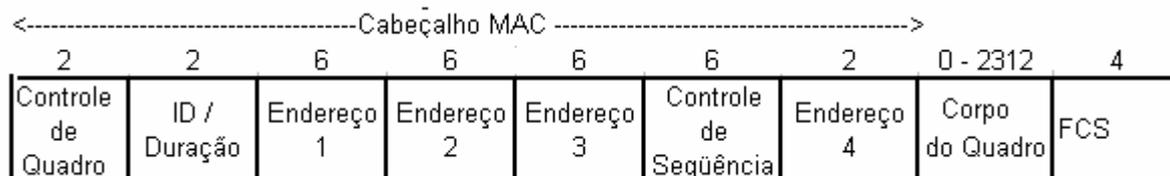


Figura 2-5 – Quadro da subcamada MAC

A descrição dos campos é apresentada a seguir:

Controle de Quadro: Esse campo contém informações de controle usadas para especificar o tipo de quadro, através da utilização de 2 bytes (Figura 2.6).

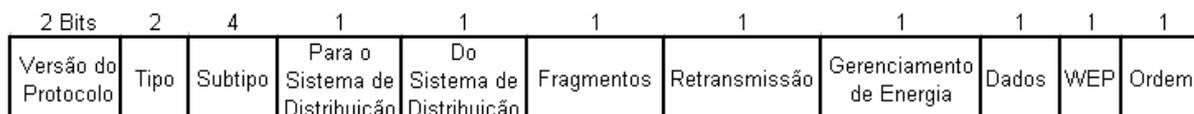


Figura 2-6 – Campos de Controle de Quadro

No campo de controle, existem as seguintes informações:

- **Versão do protocolo:** informa qual versão está sendo utilizada do protocolo IEEE 802.11. As estações destinatárias utilizam tal informação para determinar se a versão do protocolo recebido é reconhecido pela sua interface.
- **Tipo e Subtipo:** Informa a função do quadro transmitido. Para cada tipo de quadro seja de controle, dados ou gerenciamento existem múltiplos subtipos onde cada subtipo determina uma função específica desempenhada pelo quadro transmitido.
- **Para ou Do Sistema Distribuição:** indica se a informação será enviada para um Sistema de Distribuição ou se foi originada em um Sistema de Distribuição. Esses campos somente são utilizados em um quadro de dados transmitidos por estações conectadas a um ponto de acesso.
- **Fragmentos:** campo utilizado para informar se existem mais fragmentos do quadro, seja de dados ou de gerenciamento, que devem ser encaminhados.

- **Retransmissão:** utilizado para informar se o quadro está sendo retransmitido por algum motivo.
- **Gerenciamento de Energia:** informa se a estação cliente, que realizou a transmissão está ativa, analisando o canal ou está em modo *power save* economizando energia.
- **Dados:** campo importante para as estações que estão operando em modo *power save*, pois informa que o ponto de acesso possui transmissões a realizar para a estação.
- **WEP:** campo que sinaliza se a transmissão realizada está utilizando algum protocolo de criptografia.
- **Ordem:** informa se o processamento dos quadros recebidos deve ser realizado em ordem de recebimento.

Identificação e Duração: Campo é utilizado para indicar o tempo necessário para aguardar a próxima transmissão a ser recebida. Para a reserva do canal, realizada através do mecanismo RTS/CTS, esse campo contém o período de tempo que o meio ficará ocupado.

Campos de Endereço: Varia de acordo com o tipo de quadro, os 4 campos de endereço irão conter uma combinação dos seguintes tipos de endereços:

- **Identificador de BSS:** o SSID identifica cada BSS quando o quadro é vindo de uma estação que opera em modo infra-estrutura BSS. Quando o quadro é proveniente de uma estação que opera em modo *ad hoc*, o SSID é um valor aleatório gerado e gerenciado localmente pela própria estação que iniciou a transmissão.
- **Endereço de Destino:** informa o endereço MAC do destinatário final para a recepção do quadro.
- **Endereço da Origem:** indica o endereço MAC da estação que realizou a transmissão do quadro.

- Endereço do Receptor: utilizado para informar endereço MAC da próxima estação que irá receber o quadro.
- Endereço do Transmissor: informação referente ao endereço MAC da estação que realizou a transmissão do quadro na rede sem fio.

Controle de Seqüência: Formado por dois subcampos, fragmento e número de seqüência:

- Fragmento: registra o número de seqüência para cada quadro. Esse número é sempre igual caso o quadro enviado seja um quadro fragmentado.
- Seqüência: Considerado apenas quando existe um fragmento relacionado ao quadro enviado.

Corpo do Quadro: Contém a informação específica sobre o quadro de dados ou quadro de gerenciamento.

FCS (Frame Check Sequence): O transmissor do quadro realiza o processo similar a geração de *hash*, um CRC-32 (*Cyclic Redundancy Check*) sobre todos os campos do cabeçalho MAC e sobre o corpo do quadro para gerar o FCS. Assim é possível que a estação receptora do quadro através do CRC-32 analise se o valor recebido no campo FCS é o mesmo recebido, possibilitando a verificação de possíveis erros durante a transmissão.

Além dos tipos de quadros citados, os quadros de controle utilizados pelo mecanismo RTS/CTS podem ser visualizados a seguir:

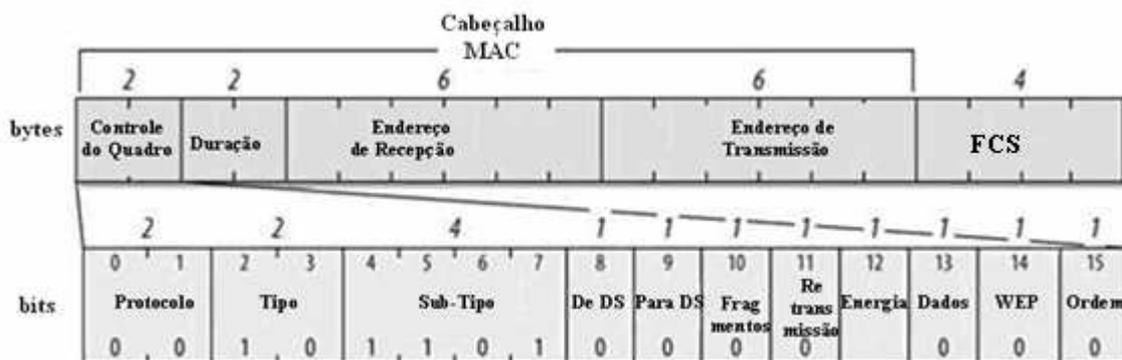


Figura 2-7 – Quadro de RTS [5]



Figura 2-8 – Quadro de CTS [5]

2.5 Espaços de Tempo entre Quadros

O padrão IEEE 802.11 define várias especificações de tempos entre o envio dos quadros, com o objetivo de regulamentar o acesso ao meio. Estes possuem o nome de *inter-frame space* (IFS), sendo eles: SIFS (*Short interframe space*), DIFS (*DCF inter-frame space*), PIFS (*PCF inter-frame space*) e EIFS (*Extended inter-frame space*).

O SIFS é o menor intervalo de tempo, com maior prioridade em relação aos outros intervalos, em que a estação espera para que o meio esteja livre. Normalmente é utilizado no processo de transmissão quando a estação receptora precisa aguardar um tempo antes de enviar um quadro de confirmação (quadro *ACK*) ou responder ao quadro de reserva recebido realizando a resposta através do envio de um quadro de CTS à estação transmissora.

O intervalo DIFS é utilizado no método de acesso DCF. As estações são obrigadas a esperar até um intervalo de tempo máximo para que o meio fique disponível, para então iniciar a transmissão. Caso a estação esteja em modo *backoff*, o contador será decrementado somente após o término do tempo DIFS.

Já o PIFS é apenas utilizado quando a rede sem fio especificar o uso do método de acesso PCF. Nesta situação as estações que estejam utilizando o método PCF precisam aguardar um intervalo de PIFS para iniciarem a transmissão.

Além dos intervalos citados acima, existe o intervalo EIFS, que é usado por uma estação que tenha acabado de receber um quadro defeituoso ou desconhecido, a fim de informar sua presença. A relação dos tempos de espera pode ser visualizada através da Figura 2.9 e a duração é descrita na Tabela 1.

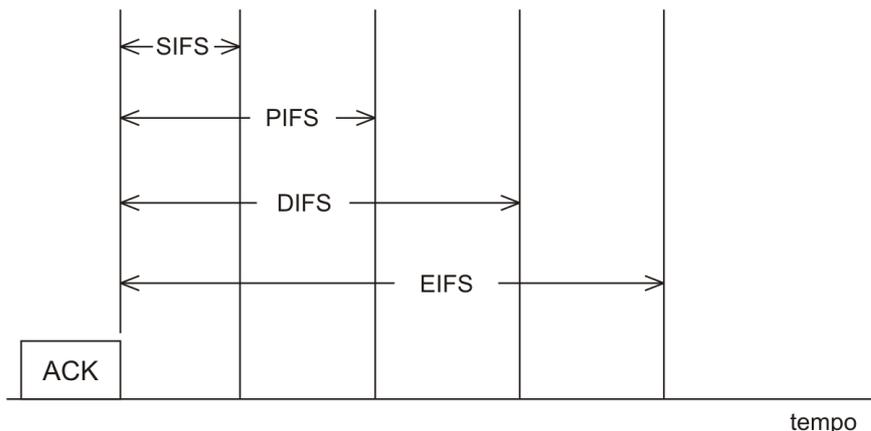


Figura 2-9 – Espaços de tempo entre quadros

Tabela 1 – Duração do espaçamento entre quadros em μs para o padrão 802.11 [9]

Tempo	Duração (μs)
SIFS	10
PIFS	30
DIFS	50
EIFS	364

2.6 Função de Coordenação Distribuída do Protocolo 802.11 (DCF)

É o procedimento comum para realização de uma transmissão através da rede sem fio, segue o funcionamento padrão através do monitoramento do canal utilizando o mecanismo de detecção de portadora [5].

Através do intervalo de tempo DIFS, a estação permanece analisando o canal e verificando a sua ociosidade, caso o tempo chegue ao fim sem a detecção de alguma transmissão é realizado o envio. Caso ocorra alguma transmissão durante o tempo de espera a estação deverá assumir o status de modo *backoff*, onde se espera um intervalo de tempo randômico antes da realização da transmissão.

Deste modo é possível que as colisões existentes durante o processo de envio sejam evitadas, minimizando a probabilidade de duas estações realizarem

transmissões no mesmo instante. É importante salientar que o mecanismo de *backoff* empregado pelo DCF é o fator determinante da eficiência do sistema.

2.6.1 Esquema de Backoff Exponencial

Ao iniciar a transmissão, um temporizador é iniciado com um valor aleatório pertencente ao intervalo de $(0, \omega - 1)$, onde ω é o tamanho utilizado pela janela de contenção. Além disto, existe uma dependência do número de tentativas frustradas de transmissão.

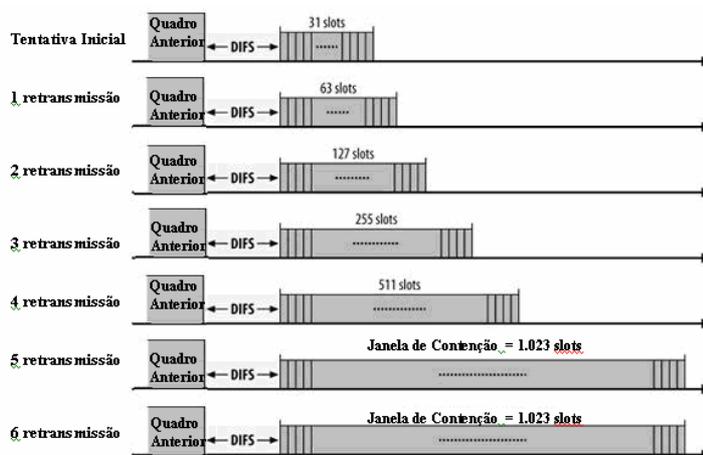


Figura 2-10 – Representação do Backoff utilizando mecanismo Direct Sequence (DSSS) para transmissão [5]

Durante a primeira tentativa, ω tem tamanho igual a CW_{min} (*Contention Window* mínimo) que é o tamanho mínimo possível para uma janela de contenção. O valor escolhido é multiplicado pelo tempo de duração de um *slot*. O *slot* de tempo é definido como sendo o tempo mínimo necessário para que qualquer estação da rede detecte uma transmissão realizada. Este tempo é utilizado como referência para a criação de um temporizador de *backoff*.

O temporizador é decrementado a cada *slot* caso não haja transmissão no meio físico. Após a ocorrência de uma colisão, o tamanho da ω dobra até o valor máximo CW_{max} (*Contention Window* máximo), valor máximo aceito pela janela de contenção. Assim, uma estação utilizando este procedimento após cada colisão, reforça a informação referente à situação da rede para as estações. Portanto, se a rede estiver ocupada indefinidamente, volta-se a tentar mais tarde, e caso a rede

esteja disponível, a transmissão é iniciada. O contador utilizado no *backoff* é decrementado sempre que o canal está desocupado, mas no momento em que alguma estação da rede inicia uma transmissão, o contador permanece paralisado e apenas será ativado novamente quando o canal estiver no estado de inatividade por um período maior que um DIFS. Quando finalmente o temporizador expira, a estação envia o seu quadro.

A variação do *backoff* pode ocorrer devido a parâmetros existentes na camada física, ou seja, a escolha da utilização do padrão IEEE 802.11 pode alterar sensivelmente o *backoff*.

Agindo assim, o procedimento de *backoff* busca evitar sucessivas colisões entre estações que estão tentando transmitir simultaneamente, pois distribuem no tempo as tentativas de transmissão.

2.6.2 Mecanismo de Acesso ao Meio

O mecanismo DCF baseia-se em um esquema de acesso aleatório usando detecção de portadora com intuito de evitar colisões. Com a utilização do CSMA/CA [7,8], os dispositivos esperam que o canal para transmissão esteja disponível para evitar possíveis colisões. Assim, as estações podem começar a transmitir em canais pré-allocados. Através da utilização deste mecanismo, sempre que uma estação precisa realizar alguma transmissão, essa inicia o processo de análise do canal habilitado para transmissão.

Caso o canal esteja disponível ou ocioso por um período maior que o tempo DIFS (*distributed interframe space*), conforme a definição na norma, a estação inicia a transmissão dos quadros. Caso contrário, a estação permanece analisando o canal até que ele fique disponível por um espaço de tempo igual a DIFS e então inicializa um contador que possui uma duração aleatória (*backoff*), pois deve ter ocorrido uma colisão durante a transmissão. Este procedimento deve-se a necessidade de se tentar minimizar a probabilidade de uma possível colisão. Assim é possível garantir que não aconteça a situação de que apenas uma única estação permaneça utilizando o canal para transmitir, proibindo assim a transmissão de outras estações.

A estação é incapaz de detectar a existência de uma colisão, devido ao tipo de transmissão realizada ser *half-duplex* (não é possível transmitir e receber transmissões simultaneamente).

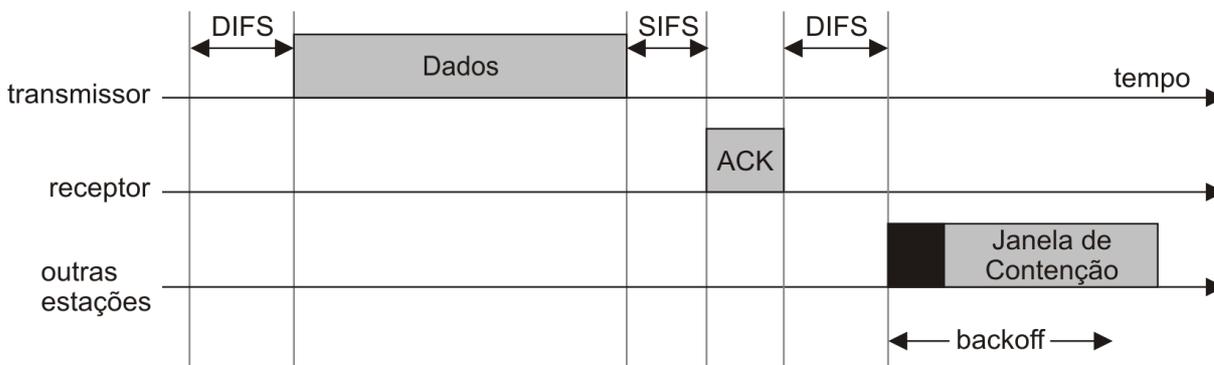


Figura 2-11 – Funcionamento do mecanismo DCF

O procedimento para transmissão de um quadro sempre deverá gerar a resposta de um quadro de *ACK (Acknowledge)*. Este é transmitido pela estação de destino logo após um curto período de tempo, chamado de *short interframe space (SIFS)*, sempre que um quadro é recebido sem erros. Caso após o período de tempo igual a um SIFS, um *ACK* não seja recebido, a estação que realizou a transmissão identifica uma colisão ou perda do quadro e reprograma o envio do quadro perdido de acordo com o tamanho da janela do *backoff*.

Devido à necessidade de eficiência para realização das transmissões, o DCF que possui a função de coordenar o funcionamento de uma rede sem fio, trabalha com segmentação de tempo, através de slots de tempo. Assim, a estação inicia a transmissão no início do segmento e é necessário que a duração deste slot permita que todas as estações percebam a existência de uma transmissão sendo realizada por outra estação que participe da mesma rede.

2.6.3 Mecanismo de Acesso ao Meio com RTS/CTS

Entre as grandes dificuldades enfrentadas pelas redes sem fio há o problema gerado pela existência de estações que não são detectadas pelos outros equipamentos que fazem parte da rede, conhecidas como estações escondidas ou ocultas, o que pode ocasionar interferências e inclusive colisões durante a transmissão [8, 17, 18, 24]. A Figura 2.12 representa tal situação.

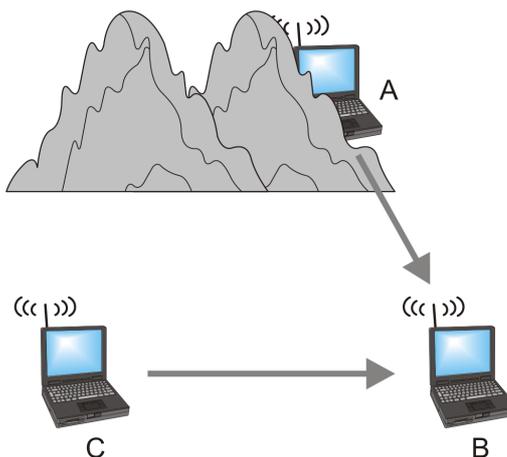


Figura 2-12 – Estação oculta [17]

Na Figura 2.12, verifica-se uma situação comum onde estações não conseguem identificar a existência de outras. Na Figura 2.12, as estações A e C não percebem a existência uma da outra, mas a estação B conhece e realiza transmissões para as duas. Quando as estações A e C realizarem transmissões durante o mesmo instante, a estação B não conseguirá identificar e receber tais transmissões, gerando assim colisão e re-transmissões que causam atraso e prejudicam o envio eficiente dos quadros.

Neste tipo de situação a transmissão pode ficar prejudicada devido às interferências geradas por outras tentativas de transmissões que ocorrem ao mesmo tempo. Entretanto, existe um mecanismo de proteção que auxilia na resolução deste tipo de problema: o mecanismo RTS/CTS [5,18], que permite um gerenciamento do meio de acesso antes de ocorrer a transmissão. Assim, quando uma estação pretende realizar uma transmissão, ela emite um quadro chamado RTS (*Request to Send*) contendo a duração do quadro de dados endereçado a estação de destino e informando que irá começar a transmissão. Se a estação de destino receber este RTS corretamente, ela espera um tempo igual a SIFS para verificar se nenhuma outra transmissão está ocorrendo. Caso o canal esteja ocioso, a estação de destino transmite o quadro CTS (*Clear to Send*) informando que o canal está livre para transmissão e reservando o meio de acesso para esta transmissão. Após um tempo igual a SIFS, a estação que recebeu o CTS inicia a sua transmissão.

Nos quadros utilizados pelo mecanismo RTS/CTS são especificados os limites utilizados para envio dos dados que a estação deseja transmitir. Como o canal é de difusão, as estações que receberem o RTS/CTS podem usar esta informação para atualizar seu vetor de alocação da rede, NAV (*Network Allocation Vector*). Desta forma, as estações que não participam da “transmissão” não precisam escutar o meio durante todo o tempo, ativando o modo *power save*. Assim, apenas quando o contador de tamanho igual ao NAV estiver zerado a estação volta a monitorar o meio físico.

Uma das principais vantagens da utilização do mecanismo de RTS/CTS é que, havendo uma colisão, o quadro perdido será pequeno, pois será um quadro de RTS. Além disso, há uma redução no impacto do problema da existência de estações escondidas pois, caso a estação que esteja localizada na mesma área de cobertura não receba o quadro RTS enviado pelo remetente, por desconhecer a existência de tal, ela receberá o quadro CTS que foi transmitido pela estação destino da transmissão, esta sim estará na sua área de cobertura. Quando isto acontecer, as estações que não estão participando da reserva do canal deverão reprogramar suas transmissões de acordo com as informações indicadas no CTS recebido.

O mecanismo de RTS/CTS é baseado na técnica do *four-way handshaking* representada através da Figura 2.13, podendo ser utilizada, opcionalmente, em uma transmissão do quadro.

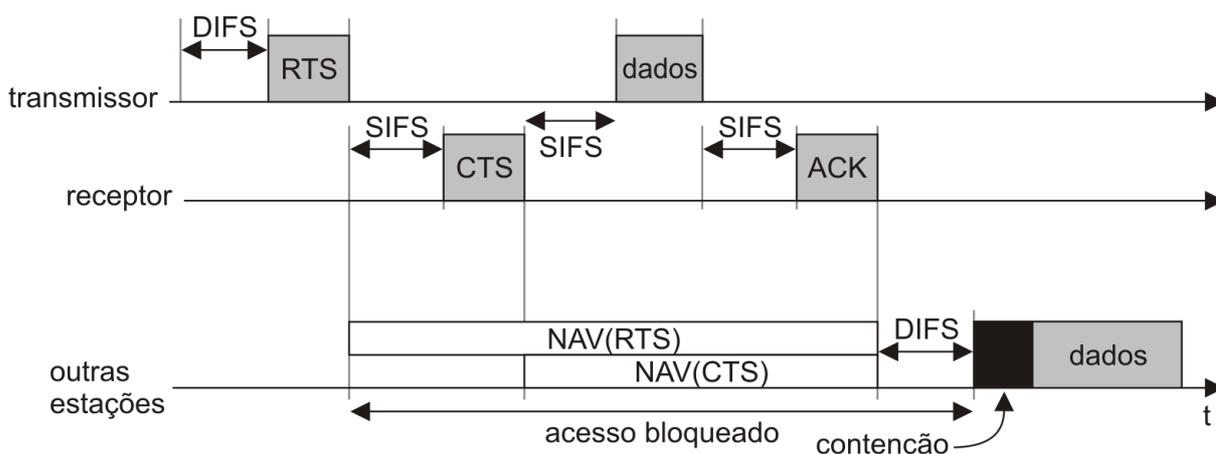


Figura 2-13 – Mecanismo RTS/CTS [5]

As estações podem escolher nunca utilizar o RTS/CTS; utilizar o RTS/CTS somente quando o quadro exceder o valor do *RTS_Threshold*, que é um parâmetro configurável; ou sempre utilizar o RTS/CTS.

Baseado na configuração e utilização da rede sem fio, é possível que a utilização do mecanismo de RTS/CTS diminua a vazão na rede gerada pela utilização dos quadros de reserva [20,21], podendo ocorrer devido à necessidade do envio destes quadros antes do início de qualquer comunicação na rede.

Deve-se salientar que a utilização do mecanismo RTS/CTS requer que todas as estações estejam habilitadas para realizar a transmissão dos quadros de reserva, incluindo o ACK, utilizando a taxa básica de transmissão (1 ou 2 Mbps), para manter a compatibilidade entre as estações.

A degradação no desempenho da rede sem fio limita a adoção desta solução nos casos em que o acesso ao meio não é intenso ou o tamanho dos dados transmitidos na rede são relativamente pequenos. Esta degradação deve-se ao aumento do tráfego de controle na rede sem fio, isto é, dos quadros impostos pelo mecanismo RTS/CTS [20,21,22]. Além disso, a utilização do canal para transmissão será sub-utilizada, pois realizará a transmissão dos quadros de reserva e não quadros de dados [23].

2.7 Problemas inerentes ao mecanismo

Uma grande dificuldade existente na utilização das redes sem fio está vinculada à existência da interoperabilidade entre algumas variações do padrão IEEE 802.11 [1,3,24,26], considerando também a existência de variação das taxas de transmissão existentes no mesmo padrão.

Artigos publicados [1,19,26,27], discutem o problema gerado pela utilização de estações simultâneas, baseado nas limitações da tecnologia que ao mesmo tempo são compatíveis entre si. No capítulo 4 são descritas algumas propostas para solucionar tal problema.

De acordo com os experimentos realizados por Heusse [1], fica clara a degradação gerada pela existência de estações lentas em um BSS, onde é demonstrada a falta de eficiência quando o mecanismo padrão é utilizado. A degradação é ocasionada pela diversidade das taxas de transmissão utilizadas

pelas estações, pois caso exista uma estação associada ao BSS com a taxa de transmissão a 1 Mbps, o cabeçalho PLCP e o preâmbulo PLCP serão longos, conforme apresentado na seção 2.4 e representado na Figura 2.14, exigindo assim que a estação permaneça durante um tempo maior ocupando o canal para realizar suas transmissões.

Deste modo, através da Figura 2.14 o tempo utilizado para a realização de uma transmissão pode ser representado, da seguinte forma:

$$T = DIFS + t_{PLCP} + t_{PSDU} + SIFS + t_{PLCP} + t_{ack}$$

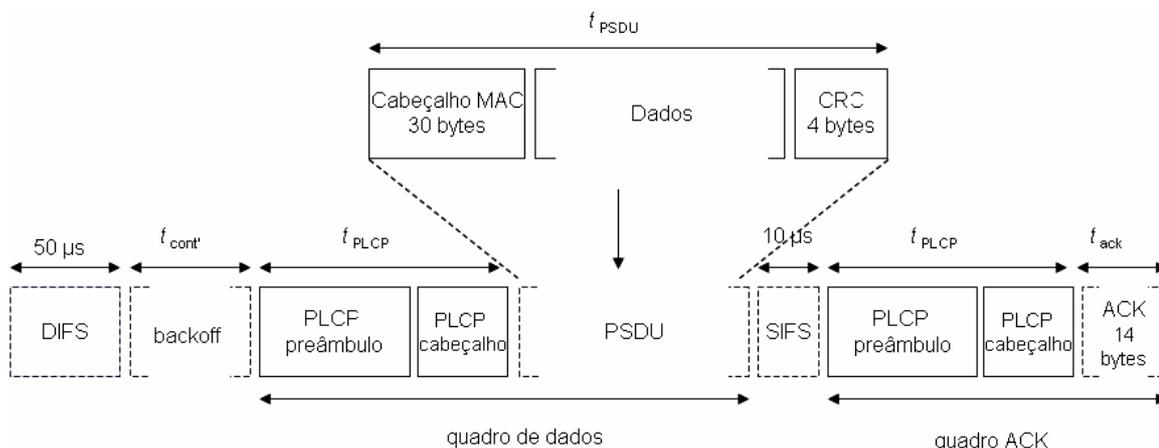


Figura 2-14 – Transmissão de um quadro [1]

Considerando a eficiência do mecanismo [1], é possível representar o tempo de *overhead* gerado em uma transmissão através da expressão *Toverhead* e em exemplos demonstrados na Tabela 2.

$$Toverhead = DIFS + t_{PLCP} + SIFS + t_{PLCP} + t_{ack}$$

Tabela 2 – Demonstração da eficiência do padrão. [19]

Taxa de Transmissão	Vazão	Proporção Vazão x Taxa de Transmissão	Tempo de Overhead	Bytes Transmitidos
11 Mbps	6,08 Mbps (UDP)	55 %	262,18 μs	2883,98
5.5 Mbps	3,81 Mbps (UDP)	69,27 %	272,36 μs	1497,98
2 Mbps	1,68 Mbps (UDP)	84 %	308 μs	616
1 Mbps	0,891 Mbps (UDP)	89,1 %	556 μs	556

Deste modo a vazão de uma estação pode ser representada através da seguinte expressão :

Seja p a proporção da vazão disponível para a estação em relação a sua taxa de transmissão.

Seja T o tempo de transmissão do quadro.

Seja T_{total} a soma do tempo de transmissão de um quadro, T , com seu tempo de overhead, $T_{overhead}$.

Seja 1500 o tamanho do quadro de dados, padrão *ethernet*.

Seja 1534 o tamanho total do MTU, padrão *ethernet*.

Então:

$$p = (T / T_{total}) \times (1500 / 1534) = 0,70$$

A vazão disponível para uma estação utilizar durante as suas transmissões corresponde aproximadamente 70% da sua taxa de transmissão.

Normalmente é possível encontrar a utilização de diversas taxas de transmissão principalmente por parte de clientes que possuam tecnologia de acesso mais antigas, junto com estações mais novas. Exemplo disto são os pontos de acesso padrão IEEE 802.11g, que permitem a taxa de transmissão máxima de acesso em 54 Mbps, mas permitem que estações que possuem interfaces com padrão IEEE 802.11 mais antigas, possam utilizá-lo.

Analisando do ponto de vista de mobilidade e disponibilidade de serviços ao usuário, esta é uma ótima opção, mas ao analisar o desempenho da rede pode-se verificar que não é interessante permitir a utilização de interfaces 802.11b a pontos de acesso 802.11g. Nestes casos a vazão média da rede é reduzida, pois as estações mais lentas demoram mais tempo para transmitir e conseqüentemente mantêm o canal bloqueado para transmissão por mais tempo. Por exemplo: uma estação com taxa de transmissão de 11 Mbps realizando a comunicação com outra estação a 54 Mbps mantém o canal de transmissão bloqueado por

aproximadamente 5 vezes o tempo que a estação mais rápida utilizaria para realizar a mesma transmissão [5].

A vazão da rede sofre degradação devido a este tipo de transmissão, pois as estações são obrigadas a enviar o cabeçalho de cada quadro transmitido utilizando a menor taxa de transmissão permitida no BSS. Deste modo, caso existam estações conectadas a rede sem fio utilizando taxas de transmissão que variem entre 1 Mbps a 54 Mbps, todas as estações devem enviar parte dos cabeçalhos utilizando 1 Mbps para que seja possível que todas reconheçam a transmissão realizada. Esta situação pode ser visualizada através da Figura 2.15 e na Tabela 3

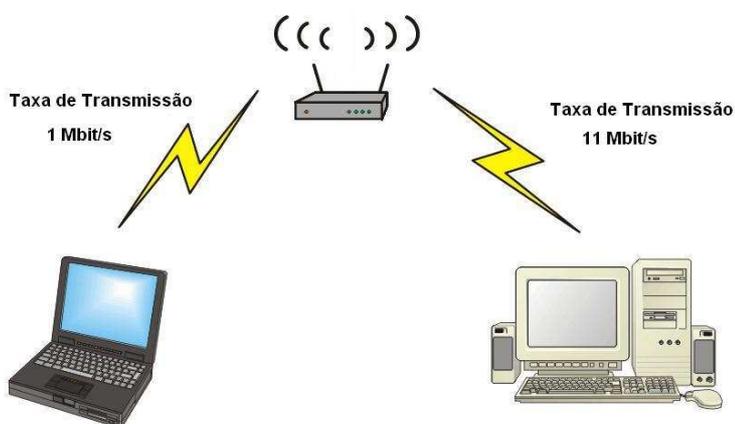


Figura 2-15 – Estações com taxas de transmissão diferentes em um mesmo BSS

Tabela 3 – Demonstração da utilização do tempo para transmissão de um pacote de dados com payload de 1472 bytes. [2]

	1 Mbit/s	11 Mbit/s
Cabeçalho	192 μ s (PLCP Longo)	96 μ s (PLCP Curto)
Pacote (1534 bytes)	12272 μ s	1115,64 μ s
TOTAL	12464 μ s	1211,636 μ s

Através da Tabela 3, é representado o tempo em μ s utilizado por cada estação conectada ao BSS para realizar a transmissão de um pacote de dados, considerando a taxa de transmissão de cada estação. Para realização desta demonstração foi considerada a utilização dos protocolos IP, UDP além dos cabeçalhos da camada de enlace juntamente com o campo de CRC.

Deste modo verifica-se que uma estação que possui taxa de transmissão de 11 Mbit/s realiza a transmissão de um pacote de dados com *payload* de 1472 bytes em aproximadamente 10% do tempo gasto por uma estação a 1 Mbit/s.

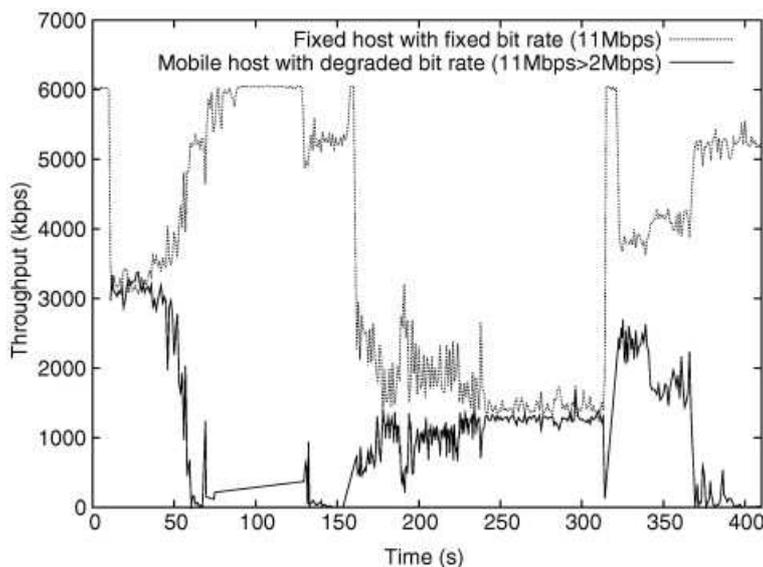


Figura 2-16 - Degradação gerada pelo acesso ao meio de estações com taxas de transmissão diferentes. [40]

Considerando a Figura 2.16, é possível verificar existência das diferentes taxas de transmissão utilizadas pelos clientes conectados ao mesmo BSS. A estação “Fixed”, conectada ao ponto de acesso que possui taxa de transmissão fixa, de 11 Mbps, tem sua vazão alterada devido à variação realizada na taxa de transmissão da estação “Mobile” conectada ao ponto de acesso, que inicialmente era 11 Mbps variando para taxas menores. Próximo de 150 s observa-se, uma redução na vazão da estação “Fixed”, pois a estação “Mobile” está configurada com uma taxa de transmissão menor mas possui a mesma probabilidade de acesso ao meio.

Conforme uma estação varia a sua taxa de transmissão, a outra pertencente ao mesmo BSS sofre alteração no seu desempenho, já que todas independentemente de sua taxa de transmissão são obrigadas a enviar o cabeçalho das transmissões utilizando a menor taxa de transmissão aceita pelo BSS.

3 MECANISMOS DE QUALIDADE DE SERVIÇO

Qualidade de serviço (QoS) é definido em [51] como: “a capacidade da rede de fornecer tratamento especial a certos tipos de tráfegos previsivelmente”. O QoS é empregado para definir os parâmetros específicos necessários para uma determinada aplicação do usuário, em termos de largura de banda, latência e jitter, etc; visando a obtenção um melhor desempenho ao longo da rede. O QoS envolve uma série de tecnologias, arquiteturas e protocolos e pode ser entendida como a capacidade da rede, através dos mecanismos de reserva de largura de banda e priorização de tráfego, em fornecer garantias de que determinados fluxos de tráfego terão tratamento diferenciado [39,41].

O conceito de qualidade de serviço foi criado pela ISO com intuito de abstrair informações referentes ao padrão de qualidade oferecido por cada serviço ou aplicação disponibilizada dentro de uma rede de computadores. Deste modo é possível analisar a real capacidade e desempenho disponível na rede para atender a demanda necessária. No início, esta análise estava limitada à rede em si, mas com o decorrer do tempo houve uma evolução para um contexto mais amplo em relação à satisfação do usuário.

Normalmente a camada de rede acaba sendo o foco das atenções para a garantia de QoS [32].

Já no caso de redes sem fio, considerando o padrão IEEE 802.11, devido à limitação existente nas taxas de transmissão utilizadas, a funcionalidade de prover algum nível de QoS deve ser especificada diretamente na camada de enlace [32]. Isso se deve às vantagens inerentes ao processo quando realizado antecipadamente à camada de rede. As redes sem fio normalmente possuem taxas de erros mais elevadas e taxas de transmissão mais baixas em relação as redes cabeadas.

O padrão de qualidade dos serviços normalmente disponibilizados em redes de computadores é conhecido como melhor esforço, no qual os recursos disponíveis são utilizados de forma igualitária, como por exemplo transmissões de voz ou conversas realizadas através de softwares de comunicação instantânea transmitidos com a mesma prioridade. A provisão de QoS em uma rede de computadores

adiciona a possibilidade de diferenciação e reserva de recursos para as aplicações que são executadas na rede. É importante salientar que prover QoS implica no aumento da complexidade da rede de computadores.

A provisão de QoS, foi especificada como na solução específica dentro de algumas tecnologias, como ATM [48]. As funcionalidades pré-existentes nesta tecnologia permitem a priorização de determinados fluxos de dados, baseado na detecção de aplicações específicas. Atualmente podemos verificar a existência ou ampliação do grau de utilização da qualidade de serviço em diversas áreas como: sistemas de armazenamento, sistemas operacionais, entre outros.

Em alguns livros [17, 42] a QoS é descrita como a capacidade de uma rede de computadores prover serviços de encaminhamento de dados de forma coerente e previsível, ou seja, é a capacidade da rede de computadores satisfazer as necessidades dos usuários. A QoS pode ser considerada como uma garantia de que o tráfego específico de alguma aplicação terá o desempenho necessário de acordo com suas exigências. Qualidade de serviço pode ser definida também como um conjunto de funcionalidades essenciais existentes através de mecanismos para que as redes de computadores possam prover prioridades para os fluxos transmitidos.

Dentre as características relacionadas à aplicação de qualidade de serviço no contexto das redes sem fio 802.11, estão a indisponibilidade, o atraso (*delay*), a variação do atraso (*jitter*), taxa de perda de pacotes e a largura de banda para a realização das transmissões [43,44,50].

- **Disponibilidade**

Este parâmetro pode afetar significativamente a qualidade de serviço, visto que, se a rede estiver indisponível mesmo por períodos curtos, não poderá alcançar a qualidade desejável. Em termos práticos, a disponibilidade é uma medida da garantia de execução do serviço ao longo do tempo e depende de fatores tais como [52]:

- Disponibilidade dos equipamentos utilizados na rede de comunicação
- Disponibilidade da rede pública, quando a mesma é utilizada: Operadoras de telecomunicações, carriers, provedores de *Internet (ISPs)*

- **Atraso na transmissão de pacotes (*delay*)**

É o tempo que o pacote leva para atravessar a rede, do ponto origem até o destino. Algumas aplicações especificam um nível máximo de retardo para funcionar adequadamente, como é o caso de transmissão de áudio e vídeo, por exemplo. O atraso está relacionado com as filas nos nós intermediários: uma fila grande pode evitar o descarte de pacotes, mas em contrapartida provoca uma maior demora no seu encaminhamento. Uma solução é aumentar a taxa de serviço, mas exige um hardware de maior desempenho (processador, buffer, memória e canais de comunicação) [52].

- **Variação do atraso entre pacotes (*jitter*)**

Ao utilizar redes de computadores que empregam comutação de pacotes é necessário conhecer a possível variação do atraso durante as transmissões. Tal variação recebe o nome de *jitter* e pode ocorrer devido à algum congestionamento existente na rede ou alguma variação da qualidade do enlace utilizado para transmissão. A existência do *jitter* é prejudicial em transmissões multimídia como voz e vídeo.

O *jitter* introduz distorção no processamento da informação e exige mecanismos específicos de compensação e controle que dependem do serviço em questão. Genericamente, uma das soluções mais comuns para o problema consiste na utilização de armazenamento temporário.

- **Perda de pacotes**

Nas redes de computadores atuais é possível que a perda de pacotes seja controlada ou evitada. Esta perda refere-se ao número de pacotes que foram transmitidos na rede e que alcançaram o destino determinado. Com a ocorrência de transmissões ineficientes é necessário que a rede possua mecanismos que a mantenha estável, algo que nem sempre é possível.

Em uma rede de melhor esforço, quando há uma situação de congestionamento, o roteador *Internet Protocol* descarta aqueles pacotes que encontrarem a fila cheia. Não havendo retransmissão de pacotes perdidos,

uma alta quantidade de perdas pode prejudicar a qualidade..Em determinados meios de transmissão a perda conhecida como *BER (Bit Error Rate)* ou taxa de erro de bit é mais alta do que em outros. Em comunicações *wireless* via satélite e redes *wireless* móveis ou fixas, as condições do ambiente, como chuvas e interferências de rádio frequência podem modificar o *BER*.

- **Largura de Banda**

Em computação define-se a largura de banda em termos da taxa de transferência de dados entre dois pontos, medida em bits por segundo (bps). A largura de banda tem uma limitação física, de acordo com a tecnologia utilizada podendo afetar significativamente a qualidade de serviço. A largura de banda pode ser classificada como:

- *Largura de Banda disponível:* é a disponibilizada a cada usuário.
- *Largura de Banda Garantida:* é a mínima disponibilizada ao usuário para sua utilização.

Sumarizando, dois grandes grupos, os mecanismos básicos existentes com intuito de prover qualidade de serviços em redes que utilizem *Internet Protocol* são [28,29,30]:

Reserva de Recursos: Através deste mecanismo os recursos disponibilizados pela rede de computadores são destinados aos clientes de acordo com os requisitos indicados em suas aplicações ou especificados pelo administrador junto aos equipamentos que compõem a rede. Em algumas situações pode haver subutilização da rede, caso os recursos sejam alocados sem a real necessidade do cliente. O RSVP (*Resource Reservation Protocol*) é um protocolo direcionado ao gerenciamento da reserva de recursos por parte das aplicações fornecendo, por exemplo, os mecanismos para implementação de serviços integrados (*IntServ*). Com o RSVP, a aplicação é capaz de notificar antecipadamente qual o recurso da rede que será necessário [29,30].

Priorização: Permite que o tráfego da rede seja classificado e que os recursos disponíveis na rede sejam divididos de acordo com critérios e políticas de administração pré-estabelecidas pelo administrador de rede. Deste modo é possível permitir que determinadas transmissões sejam realizadas antes de outras através da hierarquia implementada na rede. Por exemplo, a uma transmissão de voz é atribuída maior prioridade que a transmissão de arquivos, situação comum existente em uma rede. O mecanismo de arquitetura de Serviços Diferenciados (*DiffServ*) provê esse tipo de serviço através da classificação e um tratamento diferenciado junto às aplicações identificadas. A proposta apresentada nesta dissertação utiliza várias características existentes nesse segundo mecanismo com intuito de prover prioridades junto às estações que acessam uma rede sem fio [29,30].

Esses dois mecanismos utilizados para prover qualidade de serviço normalmente são utilizados em conjunto, pois são complementares e permitem assim a adaptação da rede de computadores às diferentes exigências existentes em cada contexto.

3.1 Token-Bucket

O *Token Bucket* é um dos principais algoritmos utilizados para gerenciamento de recursos, principalmente no controle da vazão de dados em uma rede de computadores [31,46,47,49]. Para um melhor entendimento do algoritmo é necessária a analogia com a utilização de um balde que armazene fichas ou *tokens*.

Considere que cada ficha corresponde a 1 bit. Cada transmissão só poderá ser realizada caso exista a quantidade de fichas disponíveis correspondentes à quantidade de bits a serem enviados pela estação. Não havendo fichas suficientes a transmissão deverá aguardar, sendo armazenada na fila ou *buffer* existente no equipamento que realiza o gerenciamento até que a quantidade de fichas disponíveis seja atingida. Ao término da transmissão o balde estará vazio, sendo necessário que fichas sejam armazenadas novamente para uma futura transmissão. A criação das fichas é realizada a uma taxa constante, de acordo com as políticas

implementadas pelo administrador. Assim, é possível controlar a transmissão de cada estação, previamente classificada [31,46].

Caso a fila do equipamento gerenciado esteja cheia, ocorrerão descartes dos bits a serem transmitidos. Outra situação possível é a existência diversas transmissões ocorrerem simultaneamente em determinados momentos, as rajadas ou *bursts* como são conhecidas, que ocorrem normalmente depois de um período em que as estações não realizam transmissões mas possuem fichas para utilização. Assim, ao realizar alguma transmissão, a estação passa a utilizar uma vazão maior que a normal devido à inatividade anterior [47].

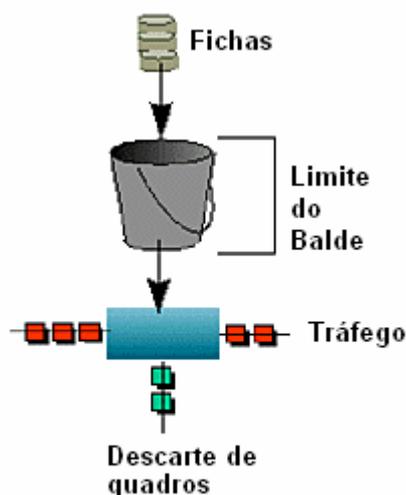


Figura 3-1– Representação do Algoritmo de Token Bucket [38]

Através da representação da Figura 3.1, verifica-se que as fichas ou *tokens* são gerados de acordo com a taxa r , sendo armazenadas em um local que possui profundidade b . Conforme o tráfego enviado pela estação seja transmitido, as fichas existentes no balde são removidas. Caso não exista a quantidade de fichas disponíveis, os bits a serem transmitidos pela estação cliente são alocados a uma fila. Caso esta fila chegue ao seu limite, o processo de descarte será iniciado [38].

3.2 Algoritmos de Escalonamento

Algoritmos de Escalonamento possuem grande importância e devem ser considerados durante o planejamento das redes. Esses são necessários devido à possibilidade de existir um congestionamento ou esgotamento dos recursos disponibilizados na rede de computadores.

Um algoritmo de escalonamento decide qual será a próxima transmissão a ser realizada dentre as que estão armazenadas na fila. Baseado nisso, é realizada a distribuição de recursos.

Os algoritmos de escalonamento podem ser definidos em dois grupos [17,53]:

- *Work conserving*: O serviço atua sempre que há alguma transmissão pendente.
- *Non-work conserving*: Nesta situação o serviço pode estar indisponível mesmo que existam transmissões na fila para serem realizadas. Para cada transmissão é atribuída a identificação de elegível ou inelegível para transmissão. Pode ocorrer que uma transmissão não seja elegível, e por isso mesmo estando na fila não será transmitida. Esse serviço é utilizado normalmente quando é necessário reter uma transmissão por um certo período com o intuito de limitar a largura de banda disponibilizada à estação transmissora.

A classificação desses algoritmos de escalonamento pode ser efetuada de acordo com os princípios que definem a ordem de envio dos pacotes: por ordem de chegada, por ordem de prioridade, ordem pré-fixada, por aproximação ao sistema de fluídos ou por pré-definição de tempo [53].

O algoritmo de escalonamento utilizado nesta dissertação é baseado no momento do recebimento das transmissões, conhecido como ordem de chegada.

Ordem de chegada

Este algoritmo de escalonamento realiza o envio dos pacotes do modo em que os pacotes chegam à fila de transmissão. O FIFO (*First In First Out*)

possui grande simplicidade de implementação mas compromete a qualidade de serviço, pois não permite diferenciação, assim como não garante os limites de atrasos. Exemplo deste padrão é o *Class-Based Queueing* [53].

Devido à necessidade de qualidade de serviço nas redes de computadores, o mecanismo de escalonamento procura disponibilizar os recursos pré-alocados aos equipamentos da rede, relacionando as transmissões aos clientes e distribuindo-os em classes específicas. Assim, o tempo de acesso ao meio e vazão são definidos de acordo com as políticas pré-definidas para cada classe.

3.3 Serviços Diferenciados (*DiffServ*)

As dificuldades na implantação de serviços integrados (*IntServ*) [17,30], como a necessidade de manter os recursos reservados em todos os roteadores e o grande número de mensagens trocadas durante o processo, tornaram-no inviável. Com o objetivo de solucionar estes problemas, o IETF (*Internet Engineering Task Force*) introduziu o *DiffServ* [29,30,51], arquitetura que alcançou grande destaque por oferecer a escalabilidade. Nesta arquitetura não existe alocação explícita de recursos e não é realizada a sinalização, por isso os pacotes são previamente marcados de acordo com o tipo de serviço desejado. A transmissão é orientada através do cabeçalho *Internet Protocol*, onde existe um campo de oito bits, anteriormente chamado de ToS (*Type of Service*) foi alterado para *DS Field*. A escalabilidade é obtida através da agregação de fluxos e separação das funções dos roteadores de borda e de núcleo nas grandes redes de *backbone* [29].

As redes que implementam serviços diferenciados são denominadas Domínios DS. O fluxo de tráfego é classificado e marcado nos roteadores de borda, onde os campos DSCP (*Differentiated Services Code Point*) dos pacotes são mapeados para os PHBs (*Per Hop Behaviors*), conforme definido na arquitetura *DiffServ*. Os PHBs definem o processo de encaminhamento de um pacote em um nó *DiffServ*, e são identificados através de um label de 8 bits do campo TOS (*Type Of Service*) do cabeçalho do pacote IPv4 e do campo *Class* do cabeçalho do pacote IPv6, agora chamados de *Differentiated Services Code Point* (DSCP)[29].

Cada aplicação apresenta características de tráfego distintas e exige diferentes qualidade de serviço. Os domínios de DS negociam entre si contratos para as garantias mínimas de qualidade de serviço para as aplicações. Os pacotes que atravessam esses domínios são fiscalizados nos roteadores de borda, os quais verificam a sua conformidade com os contratos. No centro do domínio, os nós simplesmente encaminham os pacotes para seus destinos, oferecendo garantia de qualidade a determinados pacotes.

Nessa abordagem uma porção do tráfego é tratada de forma privilegiada sobre o restante, recebendo manipulação mais rápida, maior largura de banda e menor taxa de perda. Esta é uma preferência estatística, não uma garantia rígida. Com métodos adequados, incluindo a utilização de determinadas políticas nas extremidades da rede, a arquitetura de serviços diferenciados pode prover um tratamento adequado para uma grande gama de aplicações, incluindo aquelas de missão crítica, as que necessitam de baixo atraso e aplicações de voz sobre pacotes. Na maioria das vezes, serviços diferenciados são associados com a classificação do tráfego, que é agrupado em um pequeno número de classes, sendo que cada uma recebe uma qualidade de serviço na rede.

A Figura 3.2 ilustra o uso deste campo do cabeçalho IP utilizado para diferenciação. Os bits de 0 a 5 representam o DSCP (*Differentiated Service Code Point*), os bits 6 e 7 não são utilizados [29].



Figura 3-2 – Campos DS do cabeçalho do Internet Protocol.

3.4 Gerenciamento baseado em Políticas (PBM)

O gerenciamento baseado em políticas é um dos principais mecanismos utilizados para gerenciamento e controle de redes de computadores que implementam qualidade de serviço [16,28]. Dentre várias arquiteturas disponíveis, a arquitetura de boas práticas para políticas do IETF (*Internet Engineering Task Force*) é uma das mais conhecidas e utilizadas no mercado atual [37].

Cada um dos equipamentos da rede compreende ações a serem realizadas em determinadas situações pré-definidas e configuradas pelos administradores da rede

de computadores de acordo com as políticas criadas para auxiliar o gerenciamento de recursos disponibilizados à rede. Eles normalmente precisam ter à sua disposição uma ferramenta que auxilie na criação de políticas para a implementação da qualidade de serviço na rede, que devem ser armazenadas priorizando a disponibilidade, confidencialidade e integridade em um repositório de políticas para uso posterior.

Para a efetiva implementação e utilização das políticas criadas é necessário a existência dos *Policy Decision Points*, normalmente localizados de modo distribuído em equipamentos da rede de computadores. Eles são responsáveis por reconhecer as políticas e identificá-las de modo a realizar as ações de configuração pré-definidas que são executadas nos *Policy Enforcement Points*, localizados dentro dos equipamentos de rede gerenciáveis [16].

Para a efetivação das políticas criadas é necessário que a comunicação entre os *Policy Decision Points* e os *Policy Enforcement Points* seja bem definida, e um mínimo de dois procedimentos deve ser estabelecido. Alguns protocolos para facilitar a comunicação entre tais entidades têm sido estudados, como COPS (*Common Open Policy Service*) e COPS-PR (*COPS Usage for Policy Provisioning*). Ao mesmo tempo é necessária a criação de padrões para evitar problemas de identificação relacionados à sintaxes. Por esse motivo alguns modelos foram criados como PCIM (*Policy Core Information Model*), PCIMe (*PCIM extensions*) e QPIM (*Quality of Service Policy Information Model*) [16,28].

Inicialmente, uma ferramenta de políticas deve ser utilizada para realizar o acesso a um repositório contactando *Policy Decision Points*. Normalmente a efetivação da política é realizada através da recuperação da política do repositório e o envio para os *Policy Decision Points* através de um *upload*. O processo contrário poderá ser realizado através do acesso ao repositório realizando um *download* das políticas [16,28], situação demonstrada na Figura 3.3.

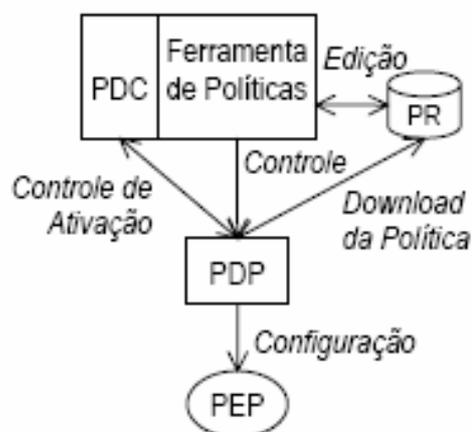


Figura 3-3 – Representação do Gerenciamento baseado em Políticas [16]

Após o procedimento inicial, cada *Policy Decision Point* interage com seus *Policy Enforcement Points* através do modelo *Outsourcing*, para garantir a aplicação da política. As decisões são tomadas em tempo real ou através do modelo *Provisioning*, onde todas as informações das políticas são enviadas ao *Policy Decision Points* [28].

4 REVISÃO DE LITERATURA

Baseadas nas dificuldades decorrentes da utilização da tecnologia sem fio, várias propostas foram apresentadas na busca de soluções para melhorar o desempenho do padrão IEEE 802.11, quando utilizadas estações de acesso com taxas de transmissões diferentes. Estas propostas descritas neste capítulo são possíveis soluções ao problema do bloqueio do canal pelas estações mais lentas

A revisão da literatura sobre este assunto permitiu estabelecer referências para comparação com a proposta dessa dissertação.

4.1 Performance analysis under finite load and improvements for multirate 802.11

Cantieni [26], aborda a necessidade de adaptação do tamanho da janela de contenção (CW_{min}) e a alteração do tamanho do quadro de dados durante a transmissão, com o intuito de evitar a degradação do desempenho da rede ao ser utilizada por uma estação com baixa taxa de transmissão .

O artigo propõe a adaptação da sub-camada MAC, existente na camada de enlace do padrão IEEE 802.11, fazendo assim com que durante o processo de transmissão o tamanho dos quadros sejam alterados de acordo com a taxa de transmissão das estações. Assim, as estações mais lentas devem alterar os parâmetros referentes à janela de contenção e ao tamanho do quadro proporcionalmente à sua taxa de transmissão.

Após a realização de testes em um ambiente controlado, é possível verificar que ao alterar o tamanho da janela de contenção e adaptar o tamanho do quadro de dados das estações mais lentas, permite-se que as estações mais rápidas possam transmitir mais dados em relação ao tempo total de transmissão das estações na rede.

De acordo com a proposta é possível que o desempenho total da rede não seja prejudicado, evitando que ocorra uma grande degradação na vazão geral da rede devido à lentidão de algumas estações, seja através de interferências, pela movimentação das estações da rede ou pela taxa de transmissão do padrão IEEE 802.11 utilizado.

O problema referente à tal solução está relacionado à necessidade de adaptação da camada MAC, obrigando assim que todos os equipamentos possuam tais funcionalidades, inclusive os adaptadores de rede sem fio, o que inviabiliza a solução, considerando a quantidade de equipamentos existentes atualmente utilizando o padrão IEEE 802.11.

4.2 Fair Time Sharing: the Cure for the Performance Anomaly of 802.11b

Em Munaretto [19] é realizado um estudo que propõe a implementação de um método que possibilite uma utilização "justa" de recursos entre as estações que compartilham o acesso ao meio.

Assim é esperado que o acesso de cada estação através da rede sem fio seja definido utilizando as políticas pré-estabelecidas que realizem a adaptação para cada estação, limitando o tempo de acesso baseado nas características de cada uma, levando em consideração principalmente a taxa de transmissão de acesso.

Ao detectar que determinada estação possui uma taxa menor de transmissão em relação às demais conectadas ao mesmo ponto de acesso, a primeira possuirá seu tempo de acesso ao meio adaptado para que não cause degradação da vazão geral da rede devido à sua baixa taxa de transmissão. Deste modo é possível "priorizar" as estações que possuem maior taxa de transmissão, aproveitando assim as vantagens existentes ao se utilizar estações com interfaces sem fio mais rápidas e fazendo com que as estações mais lentas possuam menor tempo de acesso, evitando a degradação da rede. As estações mais rápidas podem utilizar sua taxa de transmissão para transmitir mais quadros que as estações mais lentas.

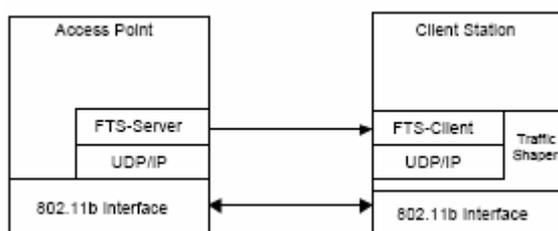


Figura 4-1 – Arquitetura Fair Time Sharing [19]

A arquitetura apresentada na Figura 4.1, possui três componentes:

- FTS-Server (*Fair Time Sharing Server*): localizado no ponto de acesso, responsável por definir o threshold.
- FTS-Client (*Fair Time Sharing Client*): localizado na estação cliente, recebe a transmissão do servidor via UDP e implementa o controle de tráfego.
- *Traffic Shaper*: localizado na estação cliente e responsável pela adaptação da conexão baseada na largura de banda disponível e em políticas pré-definidas através da utilização do aplicativo tc (traffic control) pertencente ao pacote iproute2 do Linux [38].

A dificuldade da adoção desta solução encontra-se na necessidade de adaptação de todas as estações e dos pontos de acesso da rede sem fio. Deste modo, todas as estações devem possuir o sistema FTS-Client e o *Traffic Shaper* instalados para que seja possível realizar o controle dos recursos utilizados pela estação. Além disto, os pontos de acesso devem possuir o sistema FTS-Server implementado para gerenciar os acessos dos clientes. Com a exigência de adaptação de todos os equipamentos que utilizem a rede, desde os clientes até os pontos de acesso, a solução tornou-se restrita.

4.3 Eliminating the Performance Anomaly of 802.11b

A terceira proposta [33] analisada durante os estudos retrata a possibilidade de adaptação do MTU (*Maximum Transmit Unit*) da camada de enlace ou a alteração do MSS (*Maximum Segment Size*) da camada de transporte. Através da realização de ajustes no tamanho do quadro utilizado para realizar a transmissão é possível evitar problemas de desempenho da rede sem fio.

Assim, através da readequação do tamanho do MTU ou MSS do TCP baseado na vazão da estação sem fio conectada ao ponto de acesso é possível diminuir em até 70% os problemas de desempenho devido a existência de estações com taxas de transmissão diferentes, além de aumentar em até 20% a vazão total da rede.

A implementação desta se fez no ambiente de simulação *Network Simulation* [45] versão 2. Apenas desta maneira foi possível a realização de testes e análises em relação ao possível desempenho da rede sem fio com as adaptações propostas.

Neste caso, a possível implementação desta solução é dificultada pois não houve testes reais de desempenho, e além disto, há a necessidade de adaptação da subcamada MAC do padrão IEEE 802.11, e de alteração do MSS localizado na camada de rede, necessitando a realização de alterações nos protocolos utilizados para realizar a entrega dos quadros, tornando-se deste modo uma solução sem perspectivas de adoção em massa.

4.4 *Dynamic Packet Aggregation to Solve Performance Anomaly in 802.11 Wireless Network*

Em Razafindralambo [34], os autores propõem uma agregação de pacotes usando um intervalo de tempo dinâmico dependente do tempo de ocupação do canal de rádio utilizado pela estação. Deste modo é possível resolver o problema da anomalia do padrão IEEE 802.11, ao ser utilizado por estações heterogêneas.

A solução provê o mesmo tempo de acesso ao meio para cada estação. Esta adaptação é dinâmica, levando em consideração as últimas transmissões realizadas pelas estações. Assim, é possível analisar as estações que possuem baixas taxas de transmissão baseando-se nas últimas transmissões. Desta forma o tempo de acesso ao meio é adaptado ao tempo disponível para utilização de cada estação. A agregação dos pacotes para transmissão é realizada baseada no tempo SIFS entre a recepção de um pacote de reconhecimento e o início da próxima transmissão.

Foram realizados diversos testes em ambientes de simulação que confirmam a eficácia da solução apresentada. Para a adoção da solução em massa, ainda existe limitação devido a necessidade de adaptação da subcamada MAC existente no padrão IEEE 802.11.

4.5 *Seleção Dinâmica de Parâmetros de QoS na Resolução da Anomalia de Performance do IEEE 802.11b*

Já em Carvalho [27], foi proposto e avaliado um mecanismo de controle de prioridade que utiliza os parâmetros de QoS (*Quality of Service*). O mecanismo

proposto prevê através da atribuição de probabilidades de acesso ao meio, a priorização das estações sem fio de acordo com suas taxas, fazendo com que as estações mais rápidas obtenham melhor desempenho utilizando a rede sem fio.

Desta maneira é possível alterar os parâmetros AIFS e CWmin, o primeiro controla a parte determinística da espera de tempo para transmissão e o segundo é responsável pela parte estatística. O controle de prioridade ajusta automaticamente os valores de AIFS e CWmin da categoria de tráfego de menor prioridade, de forma a alcançar os objetivos de prioridade desejados.

O trabalho descreve um algoritmo de controle de prioridade que escolhe e emite parâmetros de QoS para as estações presentes na rede sem fio, de acordo com as suas taxas. Os resultados através das simulações constatam a eficácia do mecanismo em sua tarefa de minimizar o efeito da anomalia. O algoritmo desenvolvido permite restringir a complexidade do controle de QoS somente ao ponto de acesso sem, contudo, ferir requisitos de escalabilidade, visto que a vazão medida e os parâmetros calculados a partir dele são tratados com uma visão de categorias de tráfego existentes.

Através desta solução é possível verificar a melhoria do desempenho da rede, propiciando um aumento da vazão da rede e das estações que possuem maior taxa de transmissão, minimizando-se o problema da anomalia gerada pela transmissão através de estações com taxas de transmissão menores.

Esta solução é uma das poucas que não obriga a modificação nos clientes, apenas nos pontos de acesso. Porém a proposta supõe a utilização da extensão IEEE 802.11e que ainda não está disponível comercialmente.

4.6 Lessening VoIP capacity degradation in 802.11 networks with a measurement-based channel-aware scheduler

Analisando o aspecto focado em um determinado serviço, os autores propõem uma solução para aplicações em tempo real, como o VoIP (*Voice over Internet Protocol*) [35]. Estas aplicações que utilizam a entrega não confiável de pacotes, necessitando assim que a camada de transporte entregue o pacote sem problemas através de uma conexão que possua um desempenho estável.

Segundo a proposta, a degradação de desempenho pode ser contornada, adaptando-se funcionalidades entre a camada de enlace e a camada de rede para dividir o tráfego de acordo com o destino.

A proposta leva em consideração a necessidade da existência de diversas filas que possam colaborar no gerenciamento dos pacotes a serem transmitidos, pois através delas serão implementadas políticas de permissão. Essas são definidas através de um classificador que gerencia o tráfego de saída baseado no destino. Cada uma das filas possui um *bucket* [46] associado a ela.

A transmissão é realizada através de um agendador que define o tempo para transmissão de cada fila, baseado nas regras vinculadas às últimas transmissões da estação sem fio adaptando assim o *bucket* de cada fila.

Esta solução encontra-se entre as principais discutidas atualmente, mas a obrigatoriedade da existência de uma nova camada entre as camadas já existentes faz com que não tenha sido implementada em ambiente real.

A principal dificuldade em relação a adoção da solução está relacionada a necessidade de várias adaptações para que fosse possível utilizá-la em outros ambientes, pois engloba apenas serviços de VoIP. Além disto, a solução não controla a quantidade de dados que cada estação poderá enviar ao ponto de acesso e nem possui tal finalidade de acordo com os autores, deste modo pode ocorrer a utilização indevida do canal por parte de algumas estações e perda de dados pelo ponto de acesso.

4.7 Resolving 802.11 Performance Anomalies through QoS Differentiation

A última proposta analisada, e não menos importante, é a solução proposta pelos autores em Kim [36]. Este artigo propõe o controle e o gerenciamento da janela de contenção (CWmin).

Desta forma, o tamanho da janela de contenção deverá ser inversamente proporcional a taxa de transmissão da estação, limitando-se a quatro classes pré-definidas com 1 Mbps, 2 Mbps, 5.5 Mbps e 11Mbps.

Alguns detalhes da solução deixam a desejar, devido à consideração que a quantidade de usuários na rede é grande, que o tamanho máximo da CWmax é alto, e que todas as estações estão na mesma área de cobertura, não existindo o

problema de terminal oculto. Estas informações não são essenciais mas colaboram para o sucesso da solução proposta.

As análises foram realizadas em um ambiente de simulação criado através do software *Network Simulator* versão 2, obtendo resultados bem interessantes e demonstrando que esta seria uma solução apropriada para a resolução da anomalia apresentada no padrão IEEE 802.11.

Os autores informam que futuros estudos serão realizados para a implementação da solução utilizando o protocolo TCP.

A provável não utilização da solução apresentada deve-se à necessidade da utilização de classes para diferenciação de serviços, e para isso é necessária a utilização e adaptação do padrão IEEE 802.11e [14,15,32].

4.8 Conclusão das propostas

Várias propostas para a resolução do problema da degradação da rede existente no padrão IEEE 802.11 quando utilizado por estações heterogêneas foram estudadas. Muitas delas são eficazes e conseguem obter os resultados esperados.

Através da visualização da Tabela 4, é possível identificar as principais diferenças entre as propostas analisadas.

Tabela 4– Principais diferenças entre as propostas analisadas.

Trabalhos	Adaptação das Interfaces	Adaptação dos Pontos de Acesso	QoS - 802.11e	Adaptação Camada de Enlace	Adaptação Camada de Transporte	Nova Camada	Software Adicional	Aplicação Específica
1	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
2	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
3	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
4	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
5	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
6	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
7	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não

A grande desvantagem existente na maioria das soluções propostas está na necessidade da alteração do padrão IEEE 802.11, exigindo que todas as estações já existentes sejam adaptadas para tais soluções, tornando-se inviável para o mercado atual.

Além disto, outro inconveniente da maioria destas propostas é a dependência de uma implementação nas estações clientes, o que dificulta a confiabilidade do sistema e limita a solução às estações previamente configuradas. Essa dependência reduz a escalabilidade e segurança do sistema, limitando as soluções propostas, principalmente por não serem soluções aprovadas ou definidas pelo comitê da IEEE, que é responsável pelas modificações no padrão IEEE 802.11.

A proposta apresentada nessa dissertação apresenta um novo mecanismo utilizando o RTS/CTS padrão, que permite gerenciar a degradação de desempenho existente no padrão IEEE 802.11 de uma forma dinâmica e adaptativa, garantindo independência das estações.

Esta proposta vem de encontro com as necessidades atuais do mercado, de evitar a obrigatoriedade de adaptações nas estações mas restringi-las apenas aos pontos de acesso utilizados pelas estações comuns existentes no mercado atual.

Através da implementação da solução nos pontos de acesso, é possível que as estações que utilizem o mecanismo RTS/CTS obtenham um resultado muito superior ao desempenho padrão encontrado nas redes que possuem estações com diferentes taxas de transmissão.

5 EXTENSÃO DO MECANISMO DE RTS/CTS PARA OTIMIZAÇÃO DE DESEMPENHO EM REDES SEM FIO

O método de acesso CSMA/CA prevê que todas as estações tenham a mesma probabilidade de acesso ao canal, o que leva a uma degradação no desempenho geral da rede quando estações com taxas de transmissão diferentes disputam o acesso à rede.

Para facilitar a compreensão do problema, considere o seguinte exemplo: suponha que uma estação utilizando a tecnologia IEEE 802.11g a uma taxa de transmissão de 1 Mbps capture o canal. Nesse caso, essa estação ocupará o canal durante um período aproximadamente 54 vezes maior que uma estação operando a 54 Mbps, considerando que o quadro a ser transmitido possui mesmo tamanho.

Nesse caso, uma degradação no desempenho total da rede é detectada, pois o meio de transmissão permanecerá ocupado por um período maior pelas estações com menores taxas de transmissão. Tal procedimento induz, ao longo do tempo, à uma divisão injusta do tempo de ocupação do canal, caracterizando uma degradação geral do desempenho da rede sem fio.

A proposta apresentada nesta dissertação, permite que a divisão injusta de acesso ao canal seja evitada, através da utilização do mecanismo RTS/CTS pré-existente na norma 802.11 e a implementação de um mecanismo de gerenciamento e controle dos recursos em redes sem fio.

O objetivo da extensão do mecanismo de RTS/CTS é evitar a degradação de desempenho de maneira dinâmica e adaptativa às alterações e características da rede. Nossa proposta tem como principal objetivo realizar modificações e adaptações apenas aplicados ao ponto de acesso, sem que seja necessária qualquer alteração nas estações clientes. Deste modo, a solução pode ser adotada em larga escala, em ambientes que já possuem redes sem fio, necessitando realizar apenas a substituição ou adaptação do ponto de acesso.

A única exigência para adoção da solução está relacionada as interfaces de rede sem fio utilizadas pelos clientes que estão conectados ao ponto de acesso, pois devem estar com o mecanismo de RTS/CTS padrão habilitado.

Segundo a norma IEEE 802.11, o mecanismo de RTS/CTS deve ser utilizado no processo de transmissão de dados de uma rede sem fio, exceto nos casos de comunicação *broadcast*, *multicast* e quando os quadros transmitidos são menores que o limite pré-configurado através do *RTS threshold* da rede sem fio. A arquitetura proposta é representada na Figura 5.1.

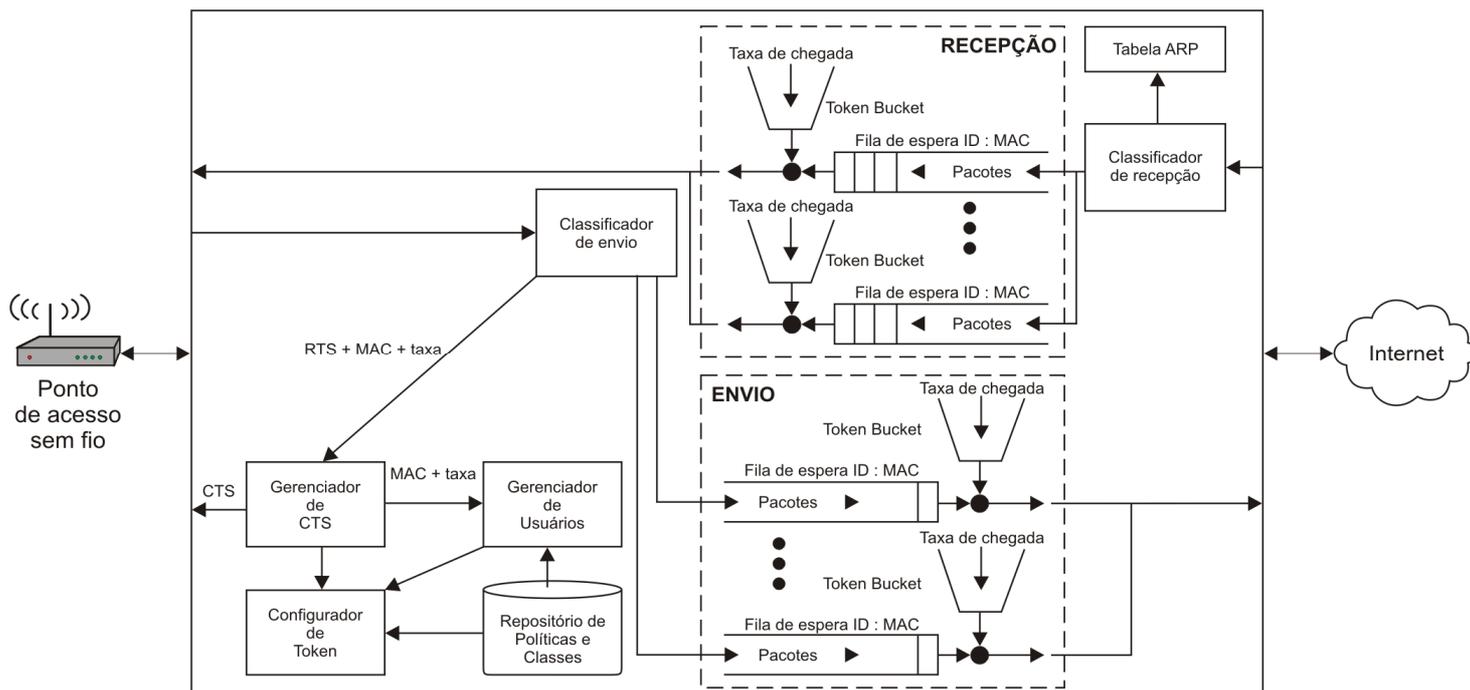


Figura 5-1 - Arquitetura do mecanismo proposto. [3]

A extensão do mecanismo de RTS/CTS inclui uma arquitetura de controle de acesso, utilizando estruturas de “*token bucket*” e filas de espera implementadas no ponto de acesso para controlar todos os clientes associados.

A principal função especificada na arquitetura está relacionada à atribuição de diferentes classes e políticas ou regras dinâmicas para configurar um “*token bucket*” e uma fila para cada cliente, adaptando assim os direitos dos usuários às suas respectivas taxas de transmissão.

Deste modo, parâmetros atribuídos à cada classe de serviço podem ser configurados para servir a um ou mais clientes conectados ao ponto de acesso. Cada classe de serviço define um conjunto de parâmetros necessários para configuração do “*token bucket*” associado a cada usuário, variando de acordo com

sua taxa de transmissão. Esse mecanismo é utilizado para medir a quantidade de recursos utilizados pelo usuário e com isso regular ou limitar seu acesso a rede sem fio.

5.1 Classes de parâmetros de serviço

Uma classe pode ser definida através da especificação de determinados parâmetros, para permitir uma diferenciação de serviços entre clientes. Na arquitetura proposta, uma classe é composta pelos seguintes atributos:

- Nome da classe: Especifica o nome da classe.
- Tamanho do *bucket* (envio): Tamanho do *bucket* de envio, permite que um usuário armazene créditos para transmitir rajadas de dados com taxa superior a taxa média.
- Taxa de *Tokens* (envio): Especifica a taxa de chegada dos *tokens* para envio dos dados.
- Tamanho da fila (envio): Tamanho da fila responsável por gerenciar o envio de dados.
- Tamanho do *bucket* (recepção): Tamanho do *bucket* de recepção, permite que um usuário armazene créditos para receber rajadas de dados com taxa superior a média.
- Taxa de *Tokens* (recepção): Especifica a taxa de chegada dos *tokens* para recepção dos dados.
- Tamanho da fila (recepção): Tamanho da fila específica para recepção dos dados.

As classes definidas pelo administrador e utilizadas nos testes são baseadas nas informações descritas na seção 5.4 :

- Classe “Ouro 54 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 25.66 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.

- Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.
- Taxa dos *Tokens* de recepção = 25.66 Mbps.
- Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

- Classe “Ouro 48 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 23.31 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.
 - Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de recepção = 23.31 Mbps.
 - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

- Classe “Ouro 36 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 19.84 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.
 - Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de recepção = 19.84 Mbps.
 - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

- Classe “Ouro 24 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 14.78 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.
 - Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de recepção = 14.78 Mbps.
 - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

- Classe “Ouro 18 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 11.57 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.
 - Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.

- Taxa dos *Tokens* de recepção = 11.57 Mbps.
- Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

- Classe “Ouro 12 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 8.28 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.
 - Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de recepção = 8.28 Mbps.
 - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

- Classe “Ouro 9 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 6.30 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.
 - Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de recepção = 6.30 Mbps.
 - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

- Classe “Ouro 6 Mbps”
 - Tamanho do *Bucket* de envio = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de envio = 4.35 Mbps.
 - Tamanho da Fila de envio = MTU.
 - Tamanho do *Bucket* de recepção = MTU.
 - Taxa dos *Tokens* de recepção = 4.35 Mbps.
 - Tamanho da Fila de recepção = 20 MTU.

5.2 Elementos da Arquitetura Proposta

Os elementos apresentados na Figura 5.1, que compõem esta proposta, são descritos a seguir:

- Classificador de envio: Este módulo é o responsável por receber todos os quadros da interface sem fio. Se o quadro recebido for de gerenciamento RTS, ele ativa o Gerenciador de CTS e passa o endereço MAC da origem do RTS além da taxa que foi utilizada para realizar a transmissão. Quando o quadro recebido for um quadro de dados, o classificador o insere na fila de envio identificada com o ID igual ao endereço MAC da origem dos dados.
- Classificador de recepção: Este módulo é o responsável por receber todos os quadros da interface de rede cabeada conectada ao ponto de acesso. Tais quadros serão colocados na fila de recepção identificada com o ID igual ao endereço MAC do destino dos dados, que é identificado pelo endereço IP destino após a realização de uma consulta na tabela ARP existente dentro do ponto de acesso.
- Gerenciador de CTS: Este módulo é responsável por enviar o quadro de gerenciamento CTS caso a estação que tenha requisitado através do envio do quadro de gerenciamento RTS tenha o direito de transmitir. Para verificar o direito da estação, o módulo analisa a fila de envio e verifica se está vazia. Caso esteja vazia, o Gerenciador de CTS retorna um quadro de gerenciamento CTS, e caso contrário, o quadro RTS é ignorado. Além da funcionalidade citada, caso seja percebida uma mudança de taxa de transmissão da interface sem fio conectada à estação, o gerenciador ativa o módulo Configurador de *Token* e reconfigura o *Token Bucket*. Já se o gerenciador perceber que não existe uma fila de envio vinculada à estação solicitante através do seu endereço MAC, é ativado o módulo Gerenciador de Usuários e o quadro de gerenciamento RTS é ignorado. Através da Figura 5.2 é possível resumir o funcionamento da solução.

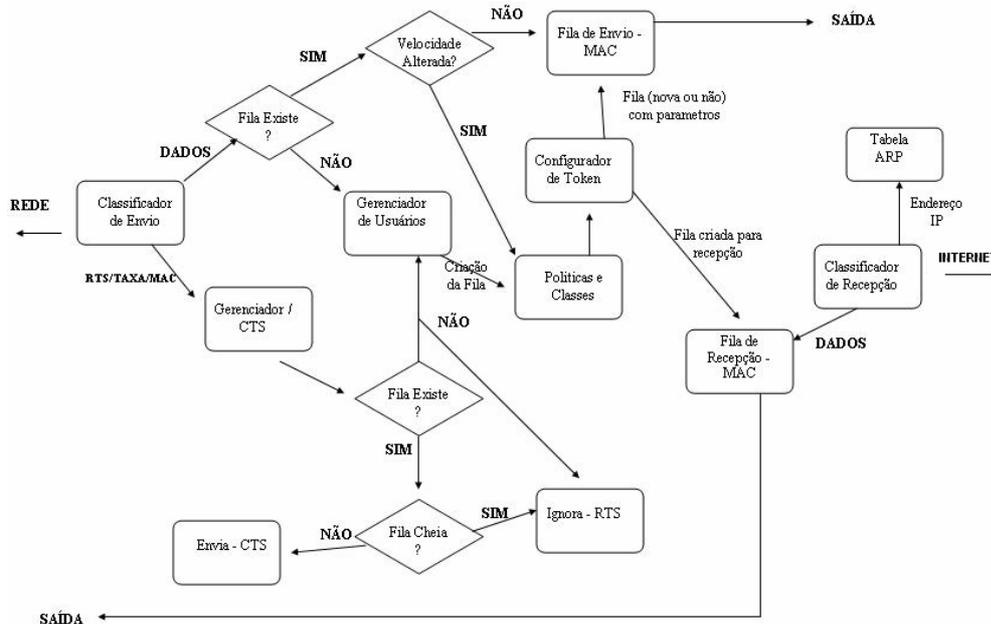


Figura 5-2 – Diagrama da solução proposta

- Gerenciador de usuários: Este módulo é o responsável por criar e gerenciar novas filas para os usuários autorizados junto ao ponto de acesso. Após criar uma nova fila, o módulo Configurador de *Token* é ativado para configurar o *Token Bucket*, responsável pelo controle de recursos disponíveis à interface sem fio da estação.
- Repositório de Políticas e Classes: Este módulo é o responsável por armazenar as políticas e as classes dos parâmetros de serviço pré-definidas pelo administrador do ponto de acesso no qual as estações estarão conectadas.
- Configurador de *Token*: Este módulo é responsável pela configuração das filas de envio e recepção baseado no endereço MAC, nas informações referentes à taxa de transmissão recebida, nas políticas pré-estabelecidas e nas classes de parâmetros de serviço armazenadas no Repositório de Políticas e Classes.
- Filas e *Token Bucket* de recepção: É o módulo que armazena os dados recebidos nas transmissões destinados a um cliente e envia os dados a ele.

Quando este possuir *tokens* suficientes para receber estes dados, o ponto de acesso repassa os dados que estavam armazenados na fila. Toda vez que a fila de um cliente estiver cheia, os novos dados recebidos são descartados.

- Filas e *Token Bucket* de envio: É o módulo que armazena os dados enviados por um cliente e os entrega ao destinatário quando possuir *tokens* suficientes.

5.3 Funcionamento

Todo o tráfego entrante no ponto de acesso, recebido pela interface sem fio, será classificado em uma das classes de serviço através do classificador. Após a classificação, o tráfego entra na fila com um identificador (ID) correspondente ao endereço MAC da estação destino e é policiado pelo “*token bucket*” configurado com os parâmetros da classe a qual o usuário pertence. Deste modo o quadro está classificado e está sob as políticas pré-definidas para que seja encaminhado à rede cabeada.

Cada vez que um usuário é associado ao ponto de acesso, o mecanismo cria uma fila para este usuário com um “*token bucket*” contendo as configurações relativas a classe a que este usuário pertence. A partir deste momento, toda vez que a estação cliente for enviar um quadro de dados, antes ela terá que enviar um quadro de gerenciamento RTS que é mandatório para este mecanismo. O ponto de acesso, ao receber o quadro RTS, verifica o endereço MAC do emissor e a fila relacionada a este endereço de transmissão. Caso exista um quadro na fila destinada a este endereço MAC, significa que esta estação enviou mais do que o permitido pela sua classe. Deste modo, o ponto de acesso não retorna o quadro de gerenciamento CTS. Já caso a fila esteja vazia, o ponto de acesso envia o quadro CTS para a estação que enviou o quadro RTS.

O mecanismo permite que o ponto de acesso analise quais estações ou clientes têm ou não direito à utilização de mais recursos, simplesmente verificando a existência de quadros na fila deste usuário. Além disso, permite o controle de todas as transmissões realizadas ao gerenciar as transmissões das estações com taxas reduzidas ou simplesmente aplicar regras administrativas com direitos diferentes entre as várias estações conectadas a rede sem fio.

Para que seja possível realizar tais funcionalidades, inclusive o controle e limitação do envio de quadros através das estações, é importante salientar a necessidade da utilização de mecanismos da camada de enlace.

O mecanismo faz a classificação de quadros baseados nos endereços MAC, informação disponível no quadro de gerenciamento RTS, e conseqüentemente cada estação será configurada como pertencente a uma classe pré-existente já definida junto ao ponto de acesso.

As classes são utilizadas para realizar a configuração das filas e “*token bucket*” de cada estação, e dependem das políticas ou regras de classificação criadas pelo administrador da rede no ponto de acesso.

Por exemplo, uma classe “*limited*” é a que permite a estação cliente enviar a quantidade de dados que tenha interesse. Para isto, basta criar um “*token bucket*” com parâmetros que reflitam a taxa máxima do ponto de acesso. Deste modo a fila estará sempre vazia, pois a estação não deverá aguardar para realizar transmissões devido a limitações impostas, e conseqüentemente sempre será enviado o quadro CTS para esta estação. Caso existam vários clientes nesta classe, o próprio método de acesso ao meio, o CSMA/CA [6,7], será encarregado de dividir o recurso entre as estações clientes que estão cadastradas nesta classe e também das outras classes, evitando assim que o recurso fique monopolizado por estações que estejam cadastradas em uma classe com limite maior.

Seguindo a mesma lógica, pode-se ter regras administrativas dinâmicas que alterem a configuração do “*token bucket*” da fila da estação de acordo com a sua taxa instantânea.

Definição de uma classe pode ser analisada da seguinte maneira: a classe prata provê uma taxa de transmissão de 5.4 Mbps, e o administrador da rede optou por dinamicamente alterar esta taxa provendo a utilização proporcional a 10% da taxa de transmissão de comunicação da estação com o ponto de acesso. Quando a estação transmitir um quadro RTS utilizando a taxa de transmissão de 54 Mbps, o ponto de acesso adapta o “*token bucket*” do usuário para 5.4 Mbps e verifica se existe fila para este usuário. Caso a fila esteja vazia, o ponto de acesso envia o quadro CTS em resposta a solicitação da estação cliente. Sendo assim, em todas as transmissões enviadas pela estação cliente relacionadas aos quadros RTS, o ponto de acesso irá analisar a taxa de transmissão, e caso exista alguma variação, a taxa

do “*token bucket*” será adaptada dinamicamente de acordo com a última taxa de transmissão utilizada pela estação cliente.

O administrador da rede é responsável por escolher se penalizará as estações que não estejam utilizando a mesma taxa de transmissão, todas as estações ou apenas um subconjunto. Este mecanismo serve também para associar as classes de serviço as estações que estejam na mesma taxa de transmissão. Caso existam estações com taxas de transmissão diferentes, essas serão condicionadas em classes distintas. É possível também criar regras para não permitir a transmissão de quadros por parte dos usuários que não estejam com o mecanismo de RTS/CTS habilitado, ou então é possível redirecionar a estação que tentou iniciar a transmissão à uma página web para administração, como acontece com os acessos a *hotspots*.

A grande vantagem deste mecanismo é que, sem realizar qualquer alteração nas estações clientes, ou seja, apenas utilizando as estações que possuem interfaces de rede sem fio do padrão IEEE 802.11, os pacotes UDP, ICMP ou quaisquer outros tipos de quadro de dados serão transmitidos apenas após a avaliação do ponto de acesso, reduzindo o problema da degradação da rede.

5.4 Avaliação de Desempenho

Nesta seção é apresentada a avaliação de desempenho da arquitetura descrita, contendo os experimentos reais e as simulações. Estes dados foram coletados através da utilização da ferramenta *Iperf* [25] para geração de tráfego na rede sem fio.

Foi utilizado um ambiente de testes real para análise da taxa de transmissão de cada estação ao compartilhar a utilização de ponto de acesso, com diferentes taxas de transmissão, utilizando interfaces do padrão IEEE 802.11g.

O ambiente utilizado para realização dos testes possui um ponto de acesso e computadores com a seguinte configuração:

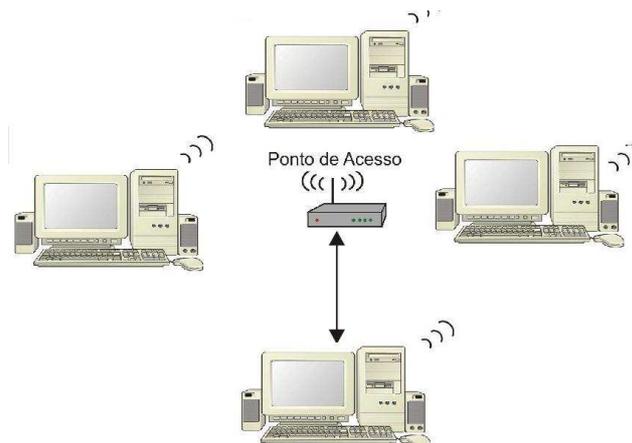


Figura 5-3 – Representação do Ambiente de Testes

Ponto de acesso:

- Ponto de Acesso Linksys – WRT-54G

Computadores: 5 a 10 estações

- Processador Sempron 2.8 Ghz

- Memória RAM de 512 MB

- Placa de rede sem fio PCI – Dlink G510 – Ver. B

As interfaces 802.11g foram escolhidas para facilitar os testes, considerando que o comportamento do método analisado, CSMA/CA, é o mesmo do padrão IEEE 802.11. Além disto, esta demonstração é válida para qualquer padrão de rede sem fio que utilize o CSMA/CA como tecnologia de acesso múltiplo ao meio. Foram utilizadas cinco a dez estações de trabalho (cliente1, cliente2, cliente3, cliente4 e cliente5). Para conectar o ponto de acesso à *Internet* foi utilizado um switch 100 Mbps.

Com o intuito de analisar o desempenho da arquitetura proposta utilizando o padrão IEEE 802.11g, foi implementado um simulador em Java, devido às características específicas da solução. Os parâmetros empregados na simulação são os valores pré-definidos do padrão IEEE 802.11g.

Para realização da simulação, o método de acesso CSMA/CA foi avaliado sob tráfego intenso, situação descrita quando sempre existe alguma estação aguardando para transmitir. Presume-se que o canal está sempre ocupado quando alguma estação necessita realizar a transmissão. Conseqüentemente, a arquitetura proposta

foi desenvolvida considerando que a rede possui alto tráfego, ou seja, todas as estações da rede possuem quadros para serem transmitidos em seus buffers de saída. Assim, pode-se analisar o pior cenário possível e onde a degradação no desempenho da rede é mais acentuada.

Durante as simulações foram realizados testes com até 10 estações, portanto quando uma rede sem fio possui um número maior de estações, o mecanismo proposto funcionará da mesma maneira, realizando o gerenciamento dos recursos disponíveis na rede.

Primeiramente, foi analisada a vazão em relação a cada taxa de transmissão permitida na camada de enlace de um sistema comum. A Figura 5.4 compara a degradação da taxa de transmissão para cada taxa de transmissão permitida pela camada de enlace, considerando uma única estação acessando o ponto de acesso utilizando o padrão IEEE 802.11g, sem permitir a compatibilidade com padrões legados, sem a interferência de outras estações e com o mecanismo de RTS/CTS desativado, obtendo assim a taxa de transmissão máxima.

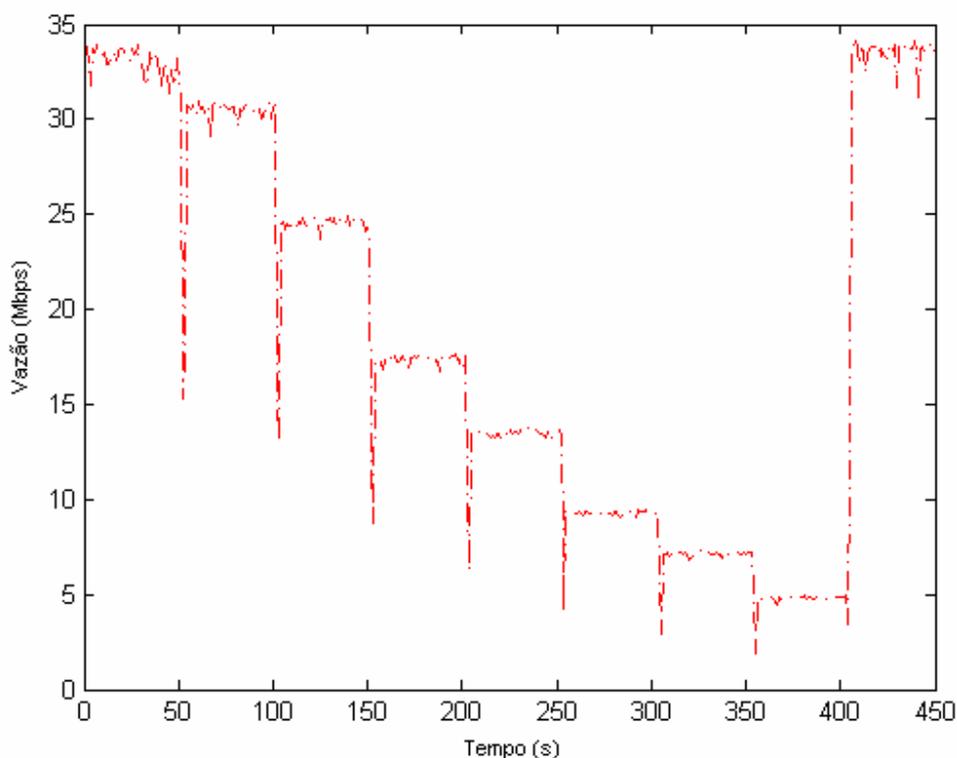


Figura 5-4 – Vazão atingida devido a variação nas taxas de transmissão

A taxa de transmissão é alterada manualmente a cada 50s. Pode-se observar que quando a estação inicia a transmissão, a taxa de transmissão é definida em 54 Mbps e é obtida uma vazão de aproximadamente 32.08 Mbps. Após 50s, a estação é configurada a 48 Mbps obtendo assim uma vazão de aproximadamente 27.59 Mbps. Assim por diante, a cada 50s um script foi utilizado para reconfigurar a placa de rede para operar nas taxas de transmissão de 36 Mbps, 24 Mbps, 18 Mbps, 12 Mbps, 9 Mbps e 6 Mbps. As taxas de transmissão utilizadas para a realização dos testes são definidas no padrão 802.11g, descritas na Tabela 5.

Tabela 5– Taxa de transmissão de uma estação sem a utilização do RTS/CTS

Taxa de Transmissão	Vazão
54 Mbps	32,08
48 Mbps	27,59
36 Mbps	22,80
24 Mbps	16,55
18 Mbps	12,83
12 Mbps	9,00
9 Mbps	7,00
6 Mbps	4,78

Estes resultados foram obtidos através de medidas coletadas em ambiente real e por simulação, para que fosse possível realizar o teste de aderência, que comprovaram a confiabilidade das simulações. Como os resultados alcançados pelas duas técnicas foram praticamente os mesmos, os gráficos contendo os resultados obtidos por simulação foram suprimidos para facilitar a visualização. A Figura 5.5 demonstra o teste de aderência realizado, contendo os dados coletados em um ambiente real utilizando diversas placas e os dados coletados através do simulador.

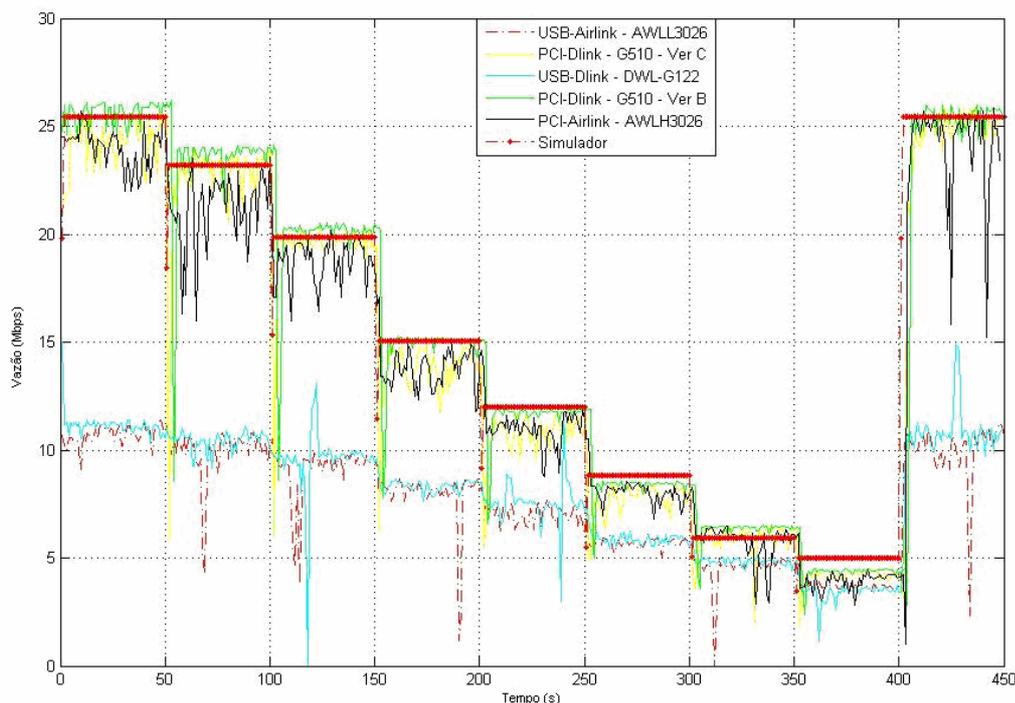


Figura 5-5 – Teste de Aderência entre os resultados em ambiente real e com simulador.

Já na Figura 5.6 é possível realizar o levantamento da vazão utilizada por uma estação quando o mecanismo de RTS/CTS é ativado. Através da utilização deste mecanismo, as estações são obrigadas a inicializar a transmissão de dados enviando um quadro de gerenciamento RTS. Deste modo, o ponto de acesso reconhece tal transmissão e caso o meio esteja livre para que a estação solicitante envie seus dados, o quadro CTS é enviado para a estação origem, permitindo assim que a transmissão seja efetivamente realizada.

Devido a necessidade da utilização do mecanismo RTS/CTS, que é obrigatório para o funcionamento desta solução, ocorre uma sub-utilização da rede sem fio, pois ao mesmo tempo em que são enviados quadros de gerenciamento RTS ou CTS, as estações poderiam utilizar o acesso ao canal para enviar quadros de dados.

Através da Figura 5.6 e da Tabela 6 pode-se analisar a perda de eficiência em relação a transmissão realizada pelas estações da rede sem fio, variando em todas as taxas de transmissão aceitas pelo padrão IEEE 802.11g, sem a permissão de acesso a sistemas legados.

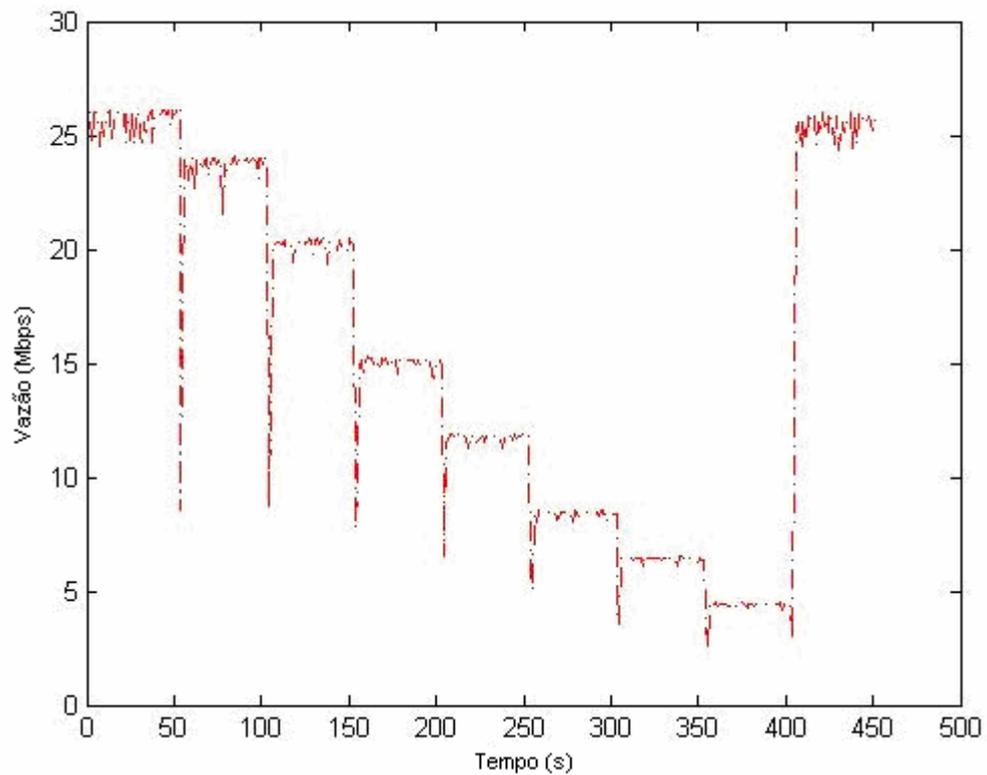


Figura 5-6 – Vazão de uma estação com RTS/CTS ativo

Tabela 6 – Taxa de Transmissão de uma estação utilizando RTS/CTS

Taxas de Transmissão	Vazão
54 Mbps	25,66
48 Mbps	23,31
36 Mbps	19,84
24 Mbps	14,78
18 Mbps	11,57
12 Mbps	8,28
9 Mbps	6,30
6 Mbps	4,35

Através da Tabela 7 é possível analisar a degradação no desempenho da rede sem fio, devido a utilização do mecanismo RTS/CTS. Quando a taxa de transmissão utilizada é de 54 Mbps, o déficit chega a aproximadamente 6.5 Mbps, um valor bem alto considerando que esta diferença está relacionada a vazão.

Tabela 7 – Comparação de desempenho com RTS/CTS ativado e desativado

Taxa de Transmissão	Vazão / Sem RTS/CTS	Vazão / Com RTS/CTS	Perda de Desempenho com RTS/CTS
54 Mbps	32,08	25,66	20%
48 Mbps	27,59	23,31	16%
36 Mbps	22,80	19,84	13%
24 Mbps	16,55	14,78	11%
18 Mbps	12,83	11,57	10%
12 Mbps	9,00	8,28	8%
9 Mbps	7,00	6,30	10%
6 Mbps	4,78	4,35	9%

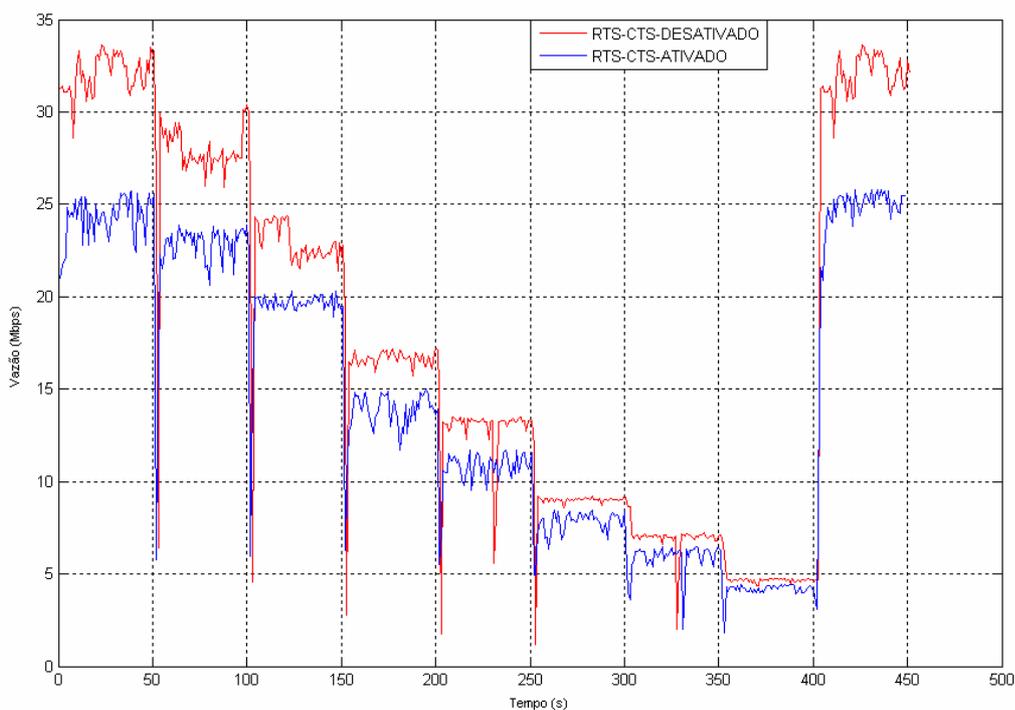


Figura 5-7 – Vazão em Mbps em relação ao RTS/CTS

Através da Figura 5.7 é possível visualizar a degradação gerada na rede sem fio quando o mecanismo de RTS/CTS é habilitado. Neste caso a simulação foi realizada utilizando a ferramenta Iperf [25] software utilizado para análise de desempenho de redes de computadores. A estação sem fio permaneceu durante

todo o período enviando quadros de dados para o servidor, sendo alternada apenas a taxa de transmissão da placa de rede sem fio, iniciando em 54 Mbps até 6 Mbps, que correspondem aos limites de taxas de transmissão aceitos pelo padrão IEEE 802.11g. A vazão máxima atingida pela transmissão com o mecanismo RTS/CTS desabilitado foi de 32,08 Mbps. Já a vazão máxima com o mecanismo habilitado limitou-se a 25.66 Mbps.

A Figura 5.7, demonstra que o desempenho durante a transmissão é comprometido devido a utilização do mecanismo RTS/CTS, pois a vazão é reduzida. Ao mesmo tempo os benefícios intrínsecos a utilização do mecanismo são facilmente detectados principalmente quando a rede sem fio possui diversas estações conectadas e encontra-se em um ambiente com muita interferência pois assim caso ocorra alguma colisão durante a transmissão normalmente será durante a reserva do canal e não durante a transmissão de dados. Deste modo a transmissão ocorrerá e a vazão será menor que a vazão normal quando o mecanismo não está habilitado mas a qualidade da transmissão dos dados pode ser elevada evitando que o excesso de colisões obrigue a existência de retransmissões de dados.

5.5 Resultados da Implementação

Para uma melhor percepção dos resultados, a seção é iniciada com a Figura 5.8, na qual é possível analisar a taxa de transmissão de duas estações, sem a utilização da arquitetura proposta, mas com a utilização do mecanismo padrão RTS/CTS comum.

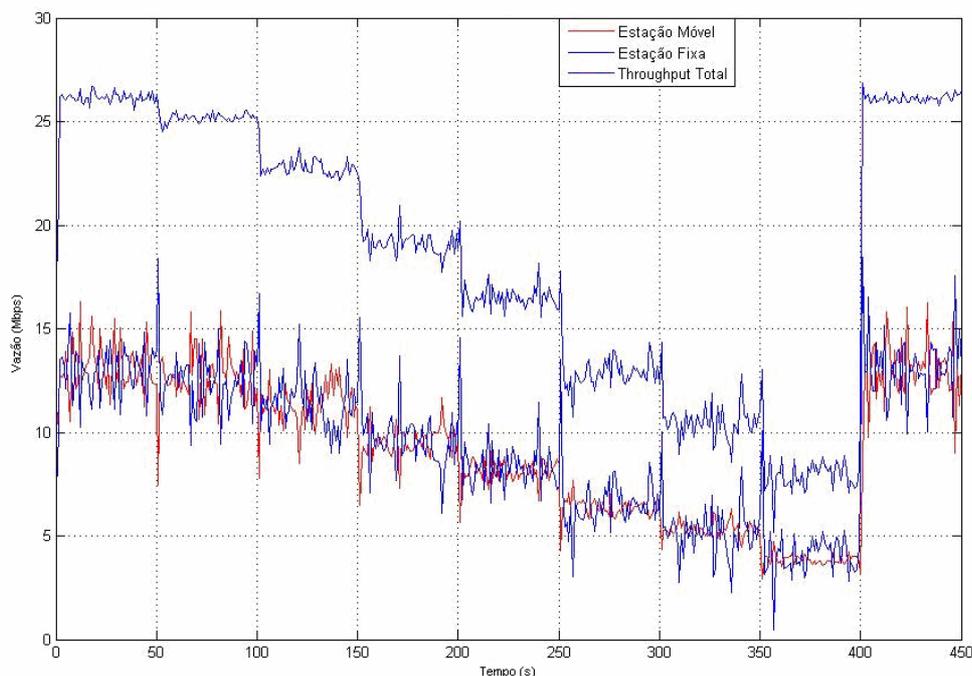


Figura 5-8 - Vazão de duas estações, sendo uma em movimento.

O tempo de duração do experimento é de 450 s. A Figura 5.8 demonstra o efeito percebido na taxa de transmissão quando ocorre a variação na distância de uma estação conectada ao ponto de acesso.

Ao iniciar os testes, as duas estações estão conectadas ao ponto de acesso com a taxa de transmissão de 54 Mbps, possuindo vazão total de aproximadamente 25.66 Mbps. Uma estação permanece fixa e com taxa de transmissão constante em 54 Mbps durante todo o experimento. Já a segunda estação começa a se movimentar inicialmente utilizando também a taxa de transmissão de 54 Mbps. Após 50 s de testes, a segunda estação começa a se movimentar para longe do ponto de acesso, causando assim uma variação na vazão tanto individual como da rede como um todo, apesar de manter a mesma taxa de transmissão teórica.

A próxima simulação é apresentada na Figura 5.9, a qual mostra a vazão de 2 estações fixas acessando um ponto de acesso, utilizando o mecanismo RTS/CTS, quando uma delas mantém sua taxa de transmissão fixa em 54 Mbps e a outra estação altera sua taxa de transmissão variando no intervalo de 54 Mbps à 6 Mbps.

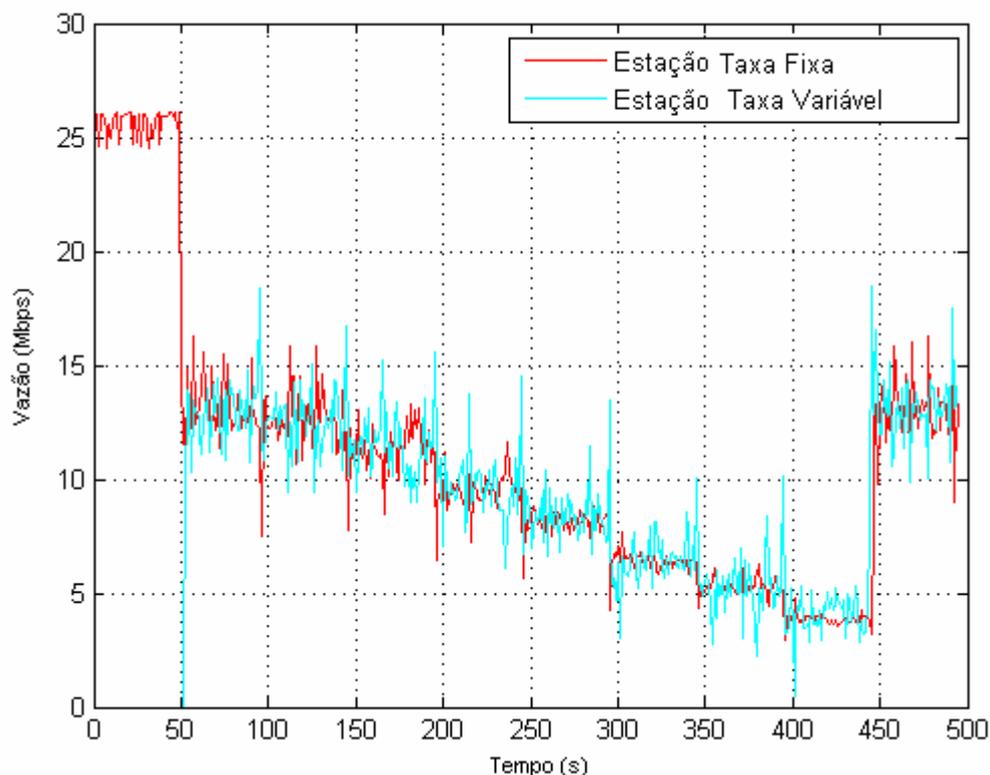


Figura 5-9 – Utilização do RTS/CTS com uma estação variando a taxa de transmissão

No início, somente uma estação está associada ao ponto de acesso, conseguindo aproximadamente 25.66 Mbps como vazão. Em 50 s, o cliente2 se conecta ao ponto de acesso, compartilhando a vazão total com o cliente1, alocando às duas estações com a metade dos 25.66 Mbps verificados. Após 100 s, a taxa de transmissão do cliente2 é reduzida. Percebe-se que a degradação na taxa de transmissão das duas estações é semelhante durante todo o tempo em que a taxa de transmissão do cliente2 é modificada de 54 Mbps à 6 Mbps, apesar de apenas o cliente2 modificar a sua taxa de transmissão. É possível verificar que a taxa de transmissão de cada uma das estações volta a ser de aproximadamente 12 Mbps. Estes resultados são similares aos resultados obtidos analisando uma rede que contém ao menos uma estação em movimento.

Para demonstrar a eficiência da arquitetura proposta, os resultados obtidos são demonstrados na Figura 5.10. O cenário usado demonstra que a arquitetura proposta pode controlar as variações abruptas da rede, mantendo um nível elevado

de confiança na taxa de dados transmitidos pelas estações clientes; e preservando os clientes das variações das taxas de transmissões de seus vizinhos.

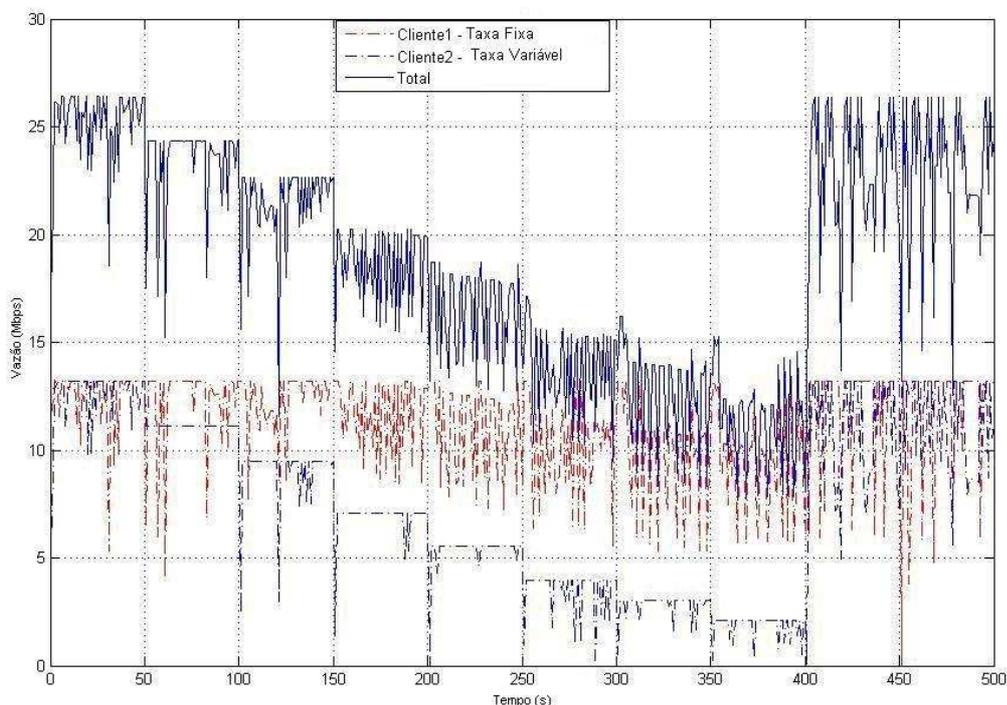


Figura 5-10 – Duas estações utilizando o mecanismo proposto.

Através da Figura 5.10, pode-se verificar que a situação demonstrada na Figura 5.9 não se repete devido à utilização do mecanismo proposto. No início dos testes as duas estações estão conectadas ao ponto de acesso, alcançando aproximadamente a vazão de 25.66 Mbps, sendo que compartilham a vazão total, ficando cada uma das estações com 13 Mbps aproximadamente. Até este momento o comportamento é o normal, pois as duas estações possuem a mesma taxa de transmissão. Em 50 s, a taxa de transmissão do cliente2 é reduzida para 48 Mbps. O gerenciador de CTS verifica a mudança da taxa de transmissão do cliente2 e ativa o configurador de *token* para verificar as políticas para esta nova taxa de transmissão e substituir as configurações do “*Token Bucket*” caso necessário.

Ao visualizar, é fácil perceber que a degradação na taxa de transmissão só ocorreu para o cliente2, enquanto para o cliente1 a taxa de transmissão permanece constante durante todo o tempo da simulação. Isso ocorre independentemente da

taxa de transmissão do cliente2, que é modificada de 54 Mbps à 6 Mbps durante esta simulação.

Ao final verifica-se que a taxa de transmissão do cliente2 retorna a 54 Mbps, e então, é possível analisar que a taxa de transmissão alcançada pelas duas estações é aproximadamente de 13 Mbps novamente. Estes resultados foram obtidos por simulação.

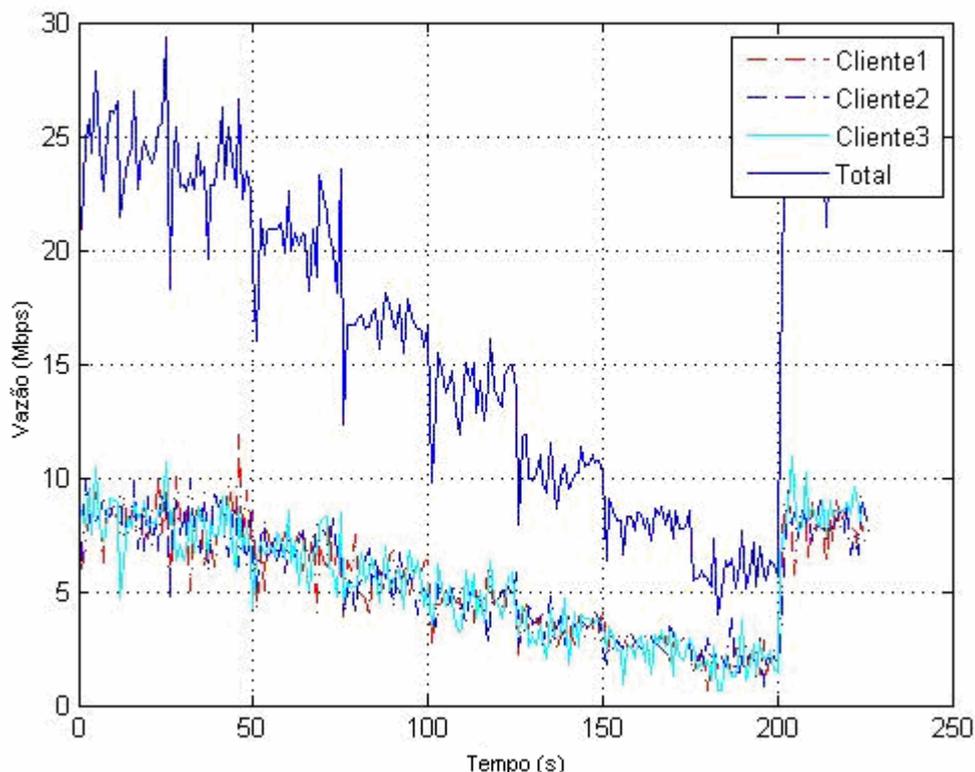


Figura 5-11 – Três estações conectadas a rede, utilizando RTS/CTS

Na Figura 5.11 é possível verificar o funcionamento padrão de três estações conectadas a rede sem fio ao mesmo tempo, sem a utilização do mecanismo proposto, com apenas duas delas tendo suas taxas de transmissão variando entre 54 Mbps à 6 Mbps. Mas como já mencionado, o cliente3, que possui taxa fixa de transmissão em 54 Mbps não realiza as transmissões de dados utilizando tal taxa por sofrer interferências das duas outras estações que utilizam taxas baixas para realizarem suas transmissões.

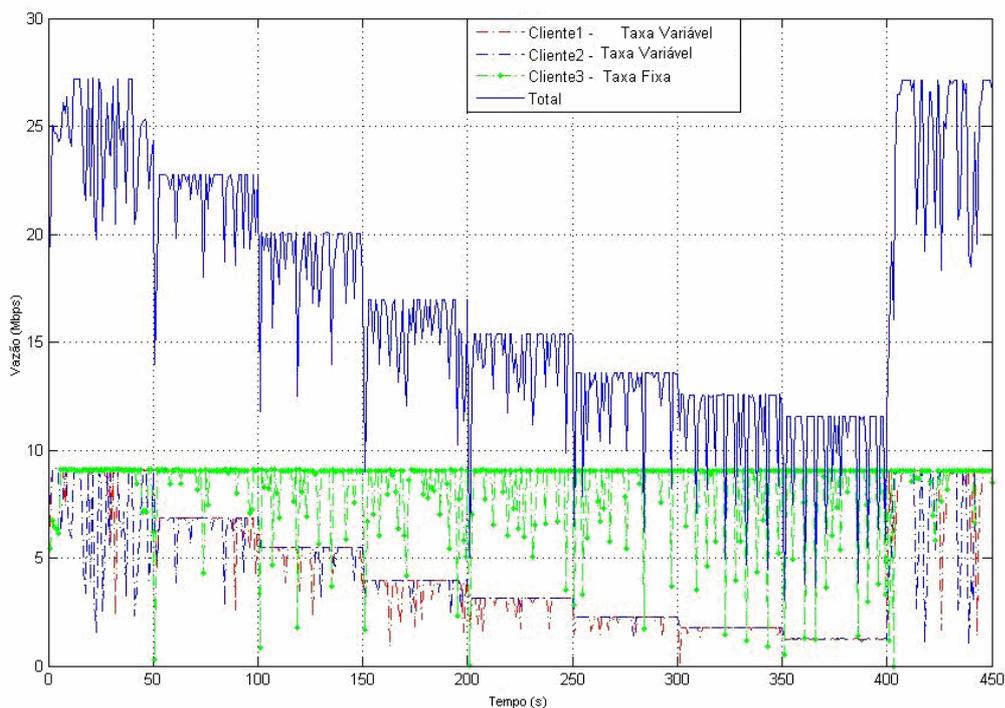


Figura 5-12 – Três estações utilizando o mecanismo proposto

A Figura 5.12 permite a visualização da mudança de comportamento da rede sem fio ao utilizar o mecanismo proposto. Neste caso, a estação que está com a sua taxa fixa de transmissão em 54 Mbps sofre pouca degradação em suas transmissões devido às taxas das outras estações. As três estações iniciam suas transmissões com a taxa de transmissão de 54 Mbps, mas a cada 50s, duas delas têm suas taxas gradativamente reduzidas, sendo que apenas a estação conhecida como cliente3 permanece com a taxa inicial durante todo o tempo que está conectada a rede. Deste modo é possível limitar as transmissões das estações lentas, evitando a sua influência negativa na vazão geral da rede sem fio.

O mesmo acontece com testes realizados com mais de 3 estações. O próximo exemplo contempla a utilização de 5 estações junto a rede sem fio. A Figura 5.13 é responsável pela representação do funcionamento comum de uma rede sem fio, apenas utilizando o mecanismo de RTS/CTS, sem que o mecanismo proposto para gerenciamento de recursos seja adotado. Já a Figura 5.13 demonstra a utilização do mecanismo de gerenciamento de recursos da rede em atividade.

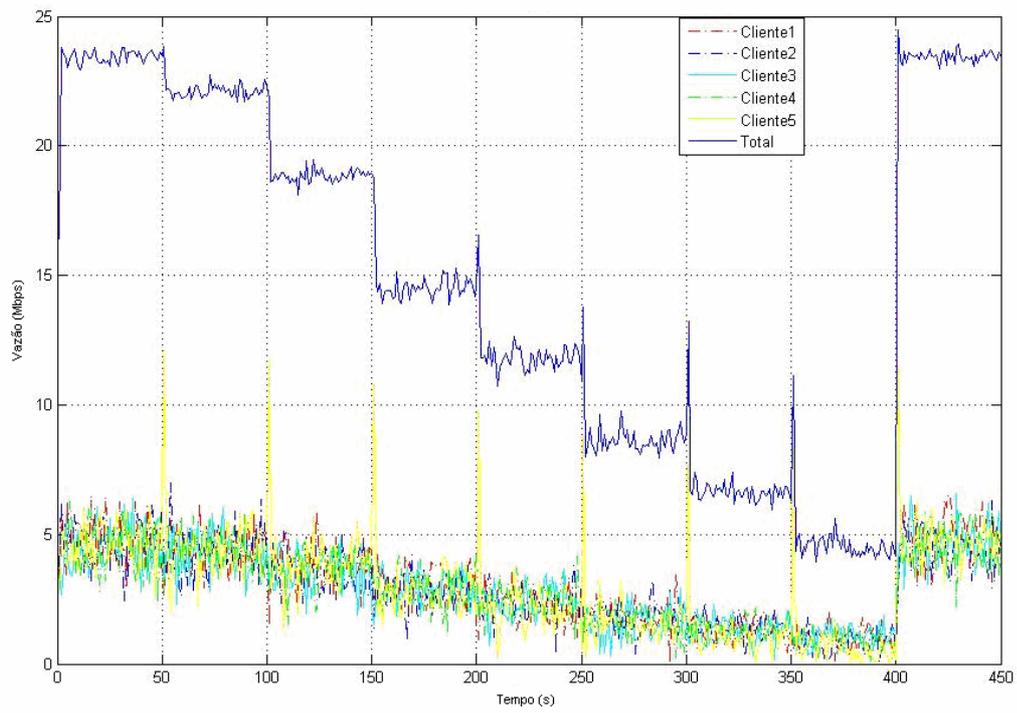


Figura 5-13 – Utilização de cinco estações através do mecanismo RTS/CTS

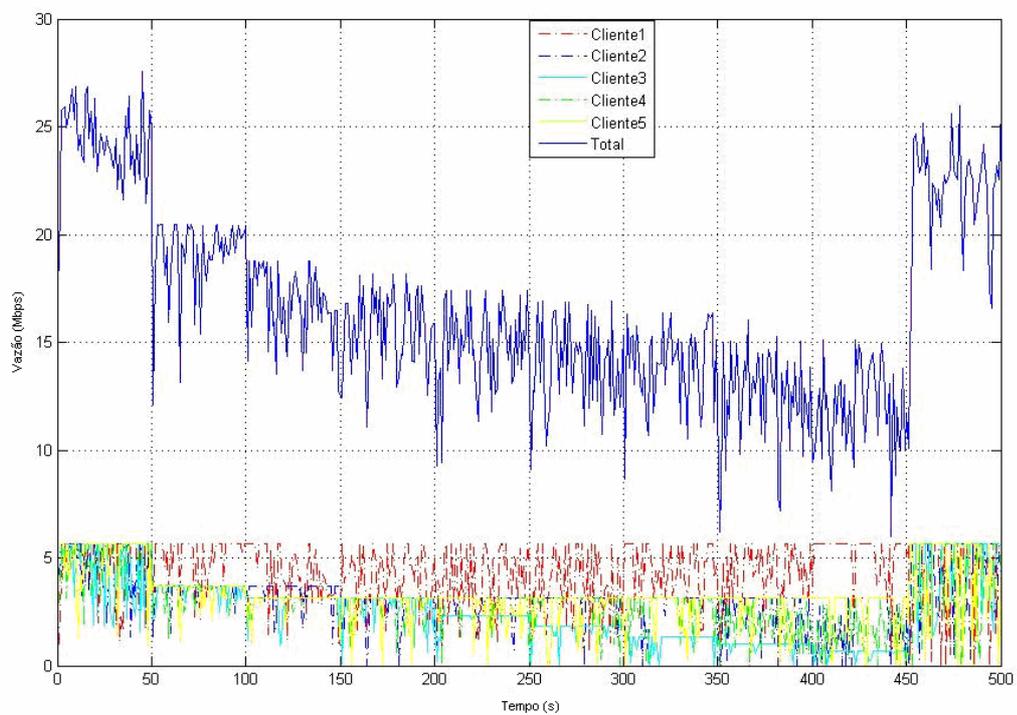


Figura 5-14 – Utilização do mecanismo proposto com cinco estações na rede

A Figura 5.14, demonstra a alteração ocorrida na vazão geral da rede em relação ao desempenho de uma rede sem fio sem a utilização da solução proposta, situação descrita através da Figura 5.13.

É possível perceber dentre outros resultados que a vazão geral da rede teve um acréscimo significativo, principalmente se for analisada a pior situação na qual a vazão geral demonstrada na Figura 5.13 aproximava-se a 4.8 Mbps, sendo que na Figura 5.14 nesta mesma situação a vazão geral superava os 10 Mbps. Além disto, a vazão da estação que não teve sua taxa de transmissão alterada manteve-se igual durante todo o tempo em que a análise foi realizada. Deste modo verificamos que a solução apresentada permite que a divisão justa de tempo de acesso ao canal seja controlada, não permitindo que uma estação lenta use o canal por um intervalo que prejudique o desempenho da rede.

Para demonstrar a eficiência da proposta descrita com o crescimento da rede, foram realizados testes utilizando 10 estações, demonstrando a possível demanda existente em uma grande parte das redes sem fio adotadas atualmente, em escritórios e pequenas empresas. Conforme demonstrado na Figura 5.15, é possível analisar a situação comum do funcionamento de uma rede sem fio utilizada por diversas estações ao mesmo tempo. O fato de uma única estação utilizar uma taxa abaixo das demais durante a sua transmissão pode gerar uma grande degradação na vazão geral da rede.

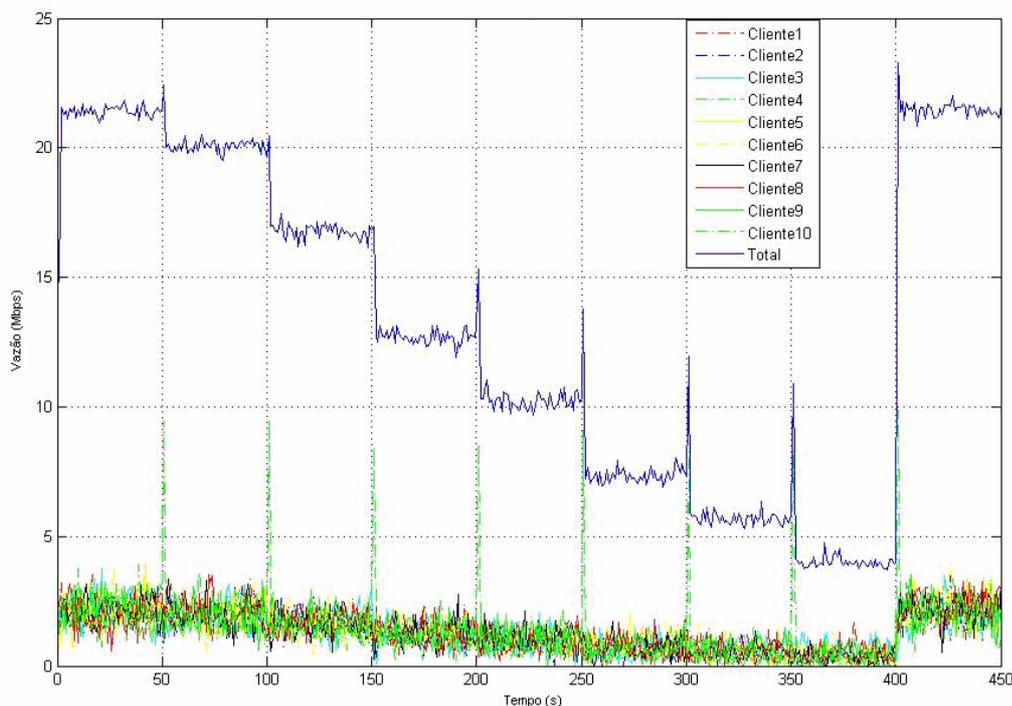


Figura 5-15 – Utilização de uma rede sem fio contendo dez estações com RTS/CTS.

Ao ser utilizado o mecanismo proposto, a representação gráfica do desempenho da rede sem fio é totalmente alterada, permitindo assim que as estações que possuam altas taxas de transmissão possam ter um desempenho melhor durante as suas transmissões. Durante a análise realizada na Figura 5.16, é possível verificar que todas as estações iniciaram o acesso da rede sem fio utilizando 54 Mbps, mas durante todo o processo apenas uma estação não teve sua taxa de transmissão inicial alterada. Deste modo fica claro concluir que tal estação não sofre as consequências comuns que sofreria caso o mecanismo utilizado fosse o padrão IEEE 802.11, mantendo o seu desempenho padronizado.

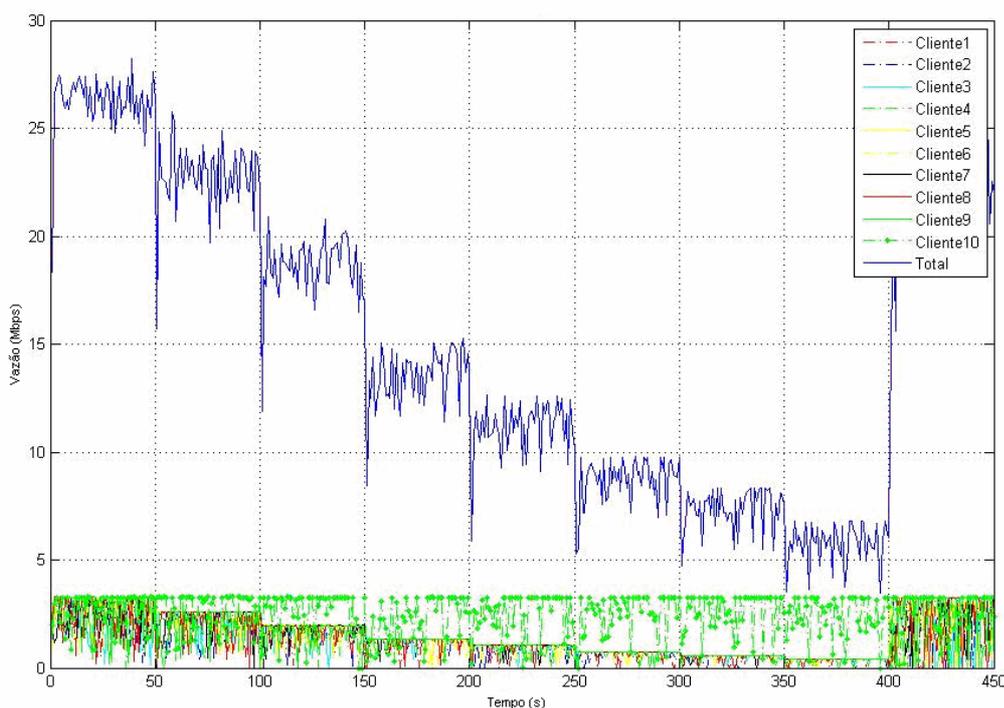


Figura 5-16 – Utilização do mecanismo proposto utilizando dez estações na rede.

Analisando a Figura 5.16, é possível perceber uma diferença apresentada em relação à Figura 5.15, pois a primeira demonstra o efetivo controle de acesso ao canal realizado pelo ponto de acesso em relação aos clientes, antes de suas transmissões serem efetivamente realizadas. Deste modo, uma estação que tenha sua taxa de transmissão alterada, conseqüentemente possuirá sua vazão adaptada à nova taxa, mas não influenciará na vazão das outras estações, pois a solução proposta controla todo fluxo que será enviado através da rede sem fio, não permitindo que estações enviem mais quadros do que o permitido para sua classe, evitando que a estação mantenha o canal bloqueado por muito tempo devido a sua baixa taxa de transmissão, impedindo assim que outras estações utilizem a rede. Pode-se verificar através da Figura 5.16 que o cliente10 permanece durante todo o tempo de análise com a vazão praticamente inalterada, de aproximadamente 3 Mbps, sendo que o mesmo cliente na Figura 5.15 sofre interferência das outras estações durante todo o tempo que está conectado a rede sem fio.

Após a abordagem da proposta desta dissertação é possível analisar quais as principais diferenças referentes as demais propostas discutidas no Capítulo 4, através da Tabela 8.

Tabela 8 – Tabela atualizada contendo as propostas analisadas com a inclusão da proposta da Dissertação.

Trabalhos	Adaptação das Interfaces	Adaptação dos Pontos de Acesso	QoS - 802.11e	Adaptação Camada de Enlace	Adaptação Camada de Transporte	Nova Camada	Software Adicional	Aplicação Específica
1	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
2	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não	Sim	Não
3	Sim	Sim	Não	Sim	Sim	Não	Não	Não
4	Sim	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não
5	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
6	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim	Não	Sim
7	Sim	Sim	Sim	Sim	Não	Não	Não	Não
Proposta	Não	Sim	Não	Sim	Não	Não	Não	Não

Visualizando a Tabela 8, é possível confirmar a diferença existente em relação as demais propostas, sendo esta a utilização de interfaces de rede sem fio sem adaptações e as alterações realizadas apenas no ponto de acesso no qual as estações estarão conectadas.

CONCLUSÃO

Nesta dissertação foram apresentados os principais problemas na utilização do padrão IEEE 802.11 e proposta uma nova solução para otimização das redes sem fio neste padrão. O objetivo da proposta descrita na dissertação é evitar a degradação na performance da rede sem fio quando estações heterogêneas encontram-se localizadas na mesma rede ou quando ocorre a movimentação de alguma estação conectada a rede. Com esse intuito, foi implementado um mecanismo de gerenciamento do compartilhamento de recursos entre estações com diferentes taxas de transmissão, baseado no mecanismo padrão do RTS/CTS.

A arquitetura foi proposta com o intuito de melhorar o compartilhamento de recursos entre as estações, evitando assim a degradação de desempenho causada por uma ou mais estações lentas que compartilham o acesso a mesma rede sem fio, e aumentar o controle da utilização dos recursos da rede. Foi considerado também o fator escalabilidade na proposta.

Os resultados demonstram a melhora no desempenho e a minimização da interferência devido às variadas taxas de transmissão entre as estações, obedecendo às políticas de administração. A arquitetura proposta reduziu a degradação do desempenho do CSMA/CA conforme o interesse do administrador da rede, permitindo assim um maior controle sobre os recursos disponíveis.

A arquitetura proposta permitiu que a estação com maior taxa de transmissão mantivesse sua vazão média independentemente da presença de estações concorrentes com baixas taxas de transmissão. Deste modo é possível que em um ambiente heterogêneo, contendo diversas estações conectadas a um ponto de acesso onde várias taxas de transmissão podem ser utilizadas, a interferência devido as diferenças de taxas possam ser reduzidas

Trabalhos Futuros

Diversos temas descritos durante esta monografia poderão ser explorados para dar continuidade ao projeto. Dentre eles pode-se comentar:

- Análise da viabilidade de implementação do mecanismo em ambiente real, em pontos de acesso de uso comercial.

- Realização de testes em ambientes comerciais para observar o comportamento da solução em um ambiente empresarial.

- Estudar a implementação da solução sem a necessidade de utilização do mecanismo RTS/CTS, pois agrega perante a rede uma maior lentidão na transmissão dos dados.

- Utilização de classes adicionais à solução, com intuito de prover melhorias a serviços de provedores sem fio para *Internet*.

REFERÊNCIAS

- [1] Heusse, Martin; Rousseau, Franck; Berger-Sabbatel, Gilles; Duda, Andrzej. Performance Anomaly of 802.11b. IEEE INFOCOM, San Francisco, 2003.
- [2] IEEE 802.11 standard. 1999. Disponível em : <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>. Acessado em 10/09/2007.
- [3] Fonseca, Mauro; Jamhour, Edgard; Mendes, Christian; Munaretto, Anelise. Extensão do Mecanismo RTS/CTS para Otimização de Desempenho em Redes sem Fio. XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2007.
- [4] Day, John; Zimmermann, Hubert. The OSI Reference Model. In THE IEEE, Vol. 71, Número 12, Dezembro 1983.
- [5] Gast, Matthew. 802.11® Wireless Networks: The Definitive Guide, Second Edition 2005.
- [6] IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, Novembro 1999.
- [7] Bianchi, Giuseppe; Fsatta, Luigi; Oliveri, Matteo. Performance Evaluation and enhancement of the CSMA/CA MAC protocol for 802.11 Wireless LAN's. Proc. IEEE PIMRC, Taipei, Taiwan. Outubro 1996, pag 392-396.
- [8] Peng, Jun; Cheng, Liang. 2006. Revisiting Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance (CSMA/CA). 40th Annual Conference on Information Sciences and Systems, 2006.
- [9] Putman, Byron. 802.11 WLAN Hands-On Analysis: Unleashing the Network Monitor for Troubleshooting and Optimization. 2005.
- [10] IEEE 802.11a standard. 1999. Disponível em : <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>. Acessado em 10/09/2007.
- [11] IEEE 802.11b standard. 1999. Disponível em : <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>. Acessado em 10/09/2007.

- [12] IEEE 802.11g standard. 1999. Disponível em : <http://grouper.ieee.org/groups/802/11>. Acessado em 10/09/2007.
- [13] Xiao, Yang. IEEE 802.11N: Enhancements for higher throughput in Wireless Lans. 2005. In IEEE Wireless Communications, Dezembro 2005.
- [14] Ni, Qiang. Performance Analysis and Enhancements for IEEE 802.11e Wireless Networks. IEEE Network, Julho/ Agosto 2005.
- [15] Kanthali, Mayank; Gaiwak, Apurva. Performance Comparison of Contention-Based Channel Access Mechanism of IEEE 802.11 and 802.11e. Seventh International Conference on Computer and Information Technology, Japan, 2007.
- [16] Granville, Lisandro; Alves, Rodrigo; Almeida, Maria; Tarouco, Liane. Um Protocolo Atômico para Aplicação de Políticas de Gerenciamento em Redes com QoS. XXIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, Fortaleza, 2005.
- [17] Kurose, James; Ross, Keith. Redes de Computadores e a Internet: Uma abordagem top-down, 3 Edição, Editora Pearson Education do Brasil, 2006.
- [18] Qayyum, Amir; Tauseef-UI-Islam; Ahmad, *Mubbashir*; Khan, Azeem. Performance increase in CSMA/CA with RTS-CTS.. 7th International IEEE INMIC 2003.
- [19] Munaretto, Anelise; Fonseca, Mauro Sergio Pereira; Agha, Khaldoun Al; Pujolle, Guy. Fair Time Sharing Protocol: a Solution for IEEE 802.11b Hot Spots. 2004. In IFIP IEEE ICT 2004, LNCS.
- [20] Sobrinho, João Luis; Haan, Roland de; Brázio, José Manuel. Why RTS-CTS is not your ideal wireless LAN multiple access protocol ?. In IEEE Wireless Communications and Networking Conference. USA, 2005.
- [21] Ray, Saikat; Carruthers, Jeffrey B; Starobinski, David. 2003 *RTS /CTS*-Induced Congestion in Ad Hoc Wireless LANs. 2003. In IEEE Wireless Communications and Networking Conference.
- [22] Tinnirello, Ilenia; Choi, Sunghyun; Kim, Youngsoo. Revisit of RTS/CTS Exchange in High-Speed IEEE 802.11 Networks. IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks. 2005.

- [23] Xu, Kaixin; Gerla, Mario; Bae, Sang. How Effective is the IEEE 802.11 RTS/CTS Handshake in Ad Hoc Networks?. Global Telecommunications Conference, USA, 2002.
- [24] Duchamp, Dan; Reynolds, Neil. Measured Performance of a Wireless LAN. IEEE Local Computer Networks. 1992.
- [25] NLANR. Iperf measuring TCP and UDP bandwidth performance. Disponível em: <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/> . Acessado em 07/05/2007.
- [26] Cantieni, Gion Reto; Ni, Qiang; Barakat, Chadi; Turetletti, Thierry. Performance analysis under finite load and improvements for multirate 802.11. Elsevier Computer Communications Journal. 2005.
- [27] Carvalho, Celso Barbosa; Rezende, José Ferreira. Seleção Dinâmica de Parâmetros de QoS na Resolução da Anomalia de Performance do IEEE 802.11b. XXI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações. 2004.
- [28] Beller, André. Uma Arquitetura para Gerenciamento de QoS baseado em Políticas. Dissertação de Mestrado, 2005. Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- [29] Melo, Edison. Qualidade de Serviço em Redes IP com DiffServ: Avaliação através de Medições. Dissertação de Mestrado, 2001. Universidade Federal de Santa Catarina.
- [30] Cisco Systems. “*Quality of Service (QoS)*”. Disponível em http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/ito_doc/qos.htm. Acessado em: 20/02/2008
- [31] Guffens, Vincent; Bastin, Georges. Using token leaky buckets for congestion feedback control in packet switched networks with guaranteed boundedness of buffer queues. European Control Conference, 2003
- [32] Silva, Madalena. Análise de Desempenho e Diferenciação de Serviços no Sub Nível MAC do Padrão IEEE 802.11e em Redes Ad Hoc. Dissertação de Mestrado, 2004. Universidade Federal de Santa Catarina.
- [33] Yoo, See-hwan; Choi, Jin-Hee; Hwang, Jae-Hyun; Yoo, Chuck. Eliminating the performance anomaly of 802.11b. International Conference on Networking. 2005.

- [34] Razafindralambo, Tahiry; Lassous , Isabelle Guérin; Iannone ,Luigi; Fdida, Serge. Dynamic packet aggregation to solve performance anomaly in 802.11 wireless networks. Proceedings of the 9th ACM international symposium on Modeling analysis and simulation of wireless and mobile systems, 2006
- [35] Garroppo, Rosario; Giordano, Stefano; Lucetti, Stefano; Tavanti, Luca. Lessening voip capacity degradation in 802.11 networks with a measurement-based channel-aware scheduler. EuroNGI Workshop on QoS and Traffic Control. 2005.
- [36] Kim, Hyogon; Yun, Sangki; Kang, Inhye; Bahk, Saewoong. Resolving 802.11 Performance Anomalies through QoS Differentiation. 2005. IEEE Communications Letters, VOL. 9, Número 7, Julho 2005.
- [37] The Internet Engineering Task Force. Disponível em <http://www.ietf.org/>. Acessado em 02/05/2008.
- [38] Kamienski, Carlos Alberto; Sadok Djamel. Qualidade de Serviço na Internet. SBRC 2000.
- [39] Rubinstein, Marcelo; Rezende, José. Qualidade de Serviço no Controle de Acesso ao Meio de Redes 802.11. XX Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores , Workshop em Qualidade de Serviço e Mobilidade, 2002.
- [40] A. Munaretto and M. Fonseca. "Self-adapting algorithm to fair time sharing in wireless access networks". Computers & Electrical Engineering, 2008.
- [41] Freitag, Juliana. Provisão de Qualidade de Serviço em Redes IEEE 802.11. Dissertação de Mestrado, 2004. Universidade Estadual de Campinas.
- [42] Dantas, Mario. Tecnologias de Redes de Comunicação e Computadores, 1 Edição, Editora Axcel Books, 2002.
- [43] Júnior, Nilton Alves. Dominguez, Kelly Soyan Pires. Modelos De Qualidade de Serviço - Aplicações Em IP. Centro Brasileiro de Pesquisas Físicas, 2000.
- [44] Kamienski, Carlos Alberto. Engenharia de Tráfego em uma Rede de Serviços Diferenciados. XVIII Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores, 2000. Mini-curso.

- [45] The Network Simulator – NS2 – Disponível em <http://www.isi.edu/nsnam/ns/>. Acessado em 02/02/2008.
- [46] Perry Tang, Puqi; Tai, Charlie. Network traffic characterization using token bucket model. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. 1999.
- [47] Chen, Yi-Chiun ; Xu, Xiao. An adaptive buffer allocation mechanism for token bucket flow control. Vehicular Technology Conference, 2004.
- [48] Giacomazzi, Paolo; Musumeci, Luigi. Transport of IP controlled-load service over ATM networks. IEEE Network Magazine, Fevereiro 1999.
- [49] Garroppo, Rosario; Giordano, Stefano; Lucetti, Stefano; Valori, Elena. The wireless hierarchical token bucket: a channel aware scheduler for 802.11 networks. World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, 2005
- [50] Zagari, Eduardo; Badan, Tomás; Prado, Rodrigo; Cardozo, Eleri; Magalhães, Maurício. Uma Plataforma para Engenharia de Tráfego com Qualidade de Serviço em Redes MPLS. 20 Simposio Brasileiro de Redes de Computadores, 2002.
- [51] Guerin, Roch; Peris, Vinod. Quality-of-service in packet networks : basic mechanisms and directions. Computer Networks, número 3, Fevereiro 1999.
- [52] Martins, Joberto. Qualidade de Serviço em Redes IP: Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos. ITELCON, 1999.
- [53] Brandão, Pedro Miguel Alves. Mecanismos de Escalonamento. Disponível em http://www.dcc.fc.up.pt/~pbrandao/aulas/0304/arq_r/slides/Mecanismos_Escalonamento.pdf. Acessado em 03/05/2008

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)