

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA
ENGENHARIA ELETRÔNICA E DE TELECOMUNICAÇÕES

GUSTAVO MATEUS DE ANDRADE

ANÁLISE DE PARÂMETROS QOS SOBRE MANETS

PATOS DE MINAS

2018

GUSTAVO MATEUS DE ANDRADE

ANÁLISE DE PARÂMETROS QOS SOBRE MANETS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Eletrônica e de Telecomunicações na Universidade Federal de Uberlândia como requisito de avaliação na disciplina TCC 2.

Orientadora: Prof(a). Dra. Karine Barbosa Carbonaro

PATOS DE MINAS

2018

GUSTAVO MATEUS DE ANDRADE

ANÁLISE DE PARÂMETROS QOS SOBRE MANETS

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Curso de Engenharia Eletrônica e de
Telecomunicações na Universidade Federal de
Uberlândia como requisito de avaliação na
disciplina TCC 2.

Patos de Minas, 18 de junho de 2018.

Banca Examinadora

Prof(a). Dra. Karine Barbosa Carbonaro – UFU/FEELT
Orientador(a)

Prof. Me. Alexander Bento Melo - UFU/FEELT
Membro examinador

Prof. Dr. Daniel Costa Ramos - UFU/FEELT
Membro examinador

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a minha orientadora, Karine Barbosa Carbonaro, a qual sempre dispôs a tirar dúvidas e dar sugestões interessantes para o trabalho. E sem esta ajuda, este trabalho não teria sido realizado como foi.

Também, gostaria de agradecer a minha família, pela compreensão por ter abdicado tempo em que poderia estar ajudando-os, a paciência nos momentos difíceis, e pelo suporte moral.

RESUMO

Neste trabalho será realizado um breve estudo das topologias de redes, das arquiteturas e os principais meios de transmissão sem fio. No segundo capítulo, abordará as camadas de rede: física e de enlace, e os principais mecanismos destas. O terceiro capítulo, explicará um pouco dos protocolos *unicast* das *Mobile Ad hoc Networks*, dos quais são divididos em proativos, reativos e híbridos. E no capítulo quatro, explicará um pouco das principais características da arquitetura QoS, e as justificadas necessidades de prover qualidade de serviço para as *Mobile Ad hoc Networks*, além dos mecanismos de escalonamento e sinalização. No último capítulo, será apresentado o software *Optimized Network Engineering Tools*, e utilizando o mesmo, diferentes propostas dentro das *Mobile Ad hoc Networks* serão abordadas, diante de diversos cenários com: mobilidade variável, diversidade de nós e diferentes aplicações. Nestes, será aplicado conceitos de qualidade de serviço e verificado como estes influenciam nos resultados. Todos estes dados obtidos serão representados por gráficos, possibilitando que sejam realizadas conclusões importantes para este estudo.

Palavras-chave: *Mobile Ad hoc Networks*. QoS. Protocolos de roteamento. *Optimized Network Engineering Tools*.

ABSTRACT

In this work will be realized a brief study of network topologies, architectures and the main means of wireless transmission. In the second chapter, it will cover the network layers: physical and link layer, and the main mechanisms of these. The third chapter will explain some of the *Mobile Ad hoc Networks* unicast protocols, of which are divided into proactive, reactive, and hybrid. And in the fourth chapter, will explain some of the main features of the QoS architecture, and the justified needs of providing quality of service for the *Mobile Ad hoc Networks*, in addition to the scheduling and signaling mechanisms. In the last chapter, the *Optimized Network Engineering Tools* software will be presented, and using it, different proposals within the *Mobile Ad hoc Networks* will be approached, against several scenarios with: variable mobility, node diversity, and different applications. In these, will be applied quality of service concepts and check how they influence the results. All these data will be represented by graphs, allowing important conclusions to be made for this study.

Keywords: *Mobile Ad hoc Networks. QoS. Routing Protocols. Optimized Network Engineering Tools.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 2.2.2.1 – Topologia em anel.....	19
Figura 2.2.3.1 – Topologia em estrela.....	19
Figura 2.2.4.1 – Topologia barramento.....	20
Figura 2.2.5.1 – Topologia em árvore.....	20
Figura 2.2.6.1 – Topologia em árvore.....	21
Figura 2.3.1.1 – APs em uma rede infra estruturada.....	21
Figura 2.3.2.1 – Redes <i>ad hoc</i>	22
Figura 2.4.1.1 – Modelo OSI.....	23
Figura 2.4.2.1.1 – Sistema de canal usando sequência direta.....	24
Figura 2.4.2.2.1 – Saltos em frequência.....	25
Figura 2.4.2.3.1 – Esquema de geração de subportadoras OFDM.....	26
Figura 2.4.3.1.1 – Arquitetura MAC.....	28
Figura 2.4.3.1.2 – Quadro MAC do padrão 802.11e.....	28
Figura 3.2.1 – Exemplo de transmissão DCF.....	33
Figura 3.2.2 – Funcionamento da função DCF (RTS/CTS)	34
Figura 3.4.1.1.1.1 – OLSR funcionando com MPR.....	36
Figura 4.4.2.1.1 – Pacote IPv4.....	45
Figura 4.4.2.1.2 – Mapa simbólico do campo ToS.....	46
Figura 4.5.1.1 – FIFO.....	47
Figura 4.5.2.1 – PQ.....	48
Figura 4.5.3.1 – CQ.....	50
Figura 4.5.4.1 – WFQ.....	51
Figura 5.1.1 – Simulador OPNET.....	53
Figura 5.3.1 – Cenários de 10 dispositivos com mobilidade.....	57
Figura 5.3.2 – Cenários de 30 dispositivos com mobilidade.....	58
Figura 6.2.1.1 – FIFO Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	63
Figura 6.2.1.2 – PQ Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	63
Figura 6.2.1.3 – WFQ Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	64
Figura 6.2.1.4 – CQ Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	64
Figura 6.2.2.1 – FIFO Load 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	66
Figura 6.2.2.2 – PQ Load 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	67
Figura 6.2.2.3 – WFQ Load 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	67
Figura 6.2.2.4 – CQ Load 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	68
Figura 6.2.3.1 – FIFO Throughput 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	69
Figura 6.2.3.2 – PQ Throughput 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	70
Figura 6.2.3.2 – WFQ Throughput 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	70
Figura 6.2.3.2 – CQ Throughput 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.....	71
Figura 6.3.1.1 – Data dropped da aplicação VoIP para 10 dispositivos móveis.....	73
Figura 6.3.1.2 – Packet End-to-End Delay da aplicação VoIP para 10 dispositivos móveis.....	74
Figura 6.3.1.3 – Jitter da aplicação VoIP para 10 dispositivos móveis.....	75
Figura 6.3.1.4 – MOS da aplicação VoIP para 10 dispositivos móveis.....	76
Figura 6.3.2.1 – Data dropped da aplicação VoIP para 30 dispositivos móveis.....	77
Figura 6.3.2.2 – Packet End-to-End Delay da aplicação VoIP para 30 dispositivos móveis.....	78
Figura 6.3.2.3 – Jitter da aplicação VoIP para 30 dispositivos móveis.....	79
Figura 6.3.2.4 – MOS da aplicação VoIP para 30 dispositivos móveis.....	80
Figura 6.4.1 – Tráfego FTP recebido.....	81
Figura 6.4.2 – Tráfego de vídeo conferência recebido.....	81

Figura 6.4.3 – Tráfego VoIP recebido.....	82
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.4.3.1 – Frequências para os NICs em WLANs do mundo.....	26
Tabela 2.4.3.2 – Padrões 802.11 IEEE.....	27
Tabela 2.4.3.1.1 – Tabela de prioridades QoS.....	29
Tabela 3.4.1 – Protocolos de roteamento <i>ad hoc unicast</i>	34
Tabela 5.2.1 – Especificações da aplicação VoIP.....	54
Tabela 5.2.2 – Especificações da aplicação de vídeo conferência.....	55
Tabela 5.2.3 – Especificações da aplicação FTP.....	55
Tabela 5.3.1 – Atributos AODV.....	56
Tabela 5.3.2 – Descrição dos cenários.....	56
Tabela 6.2.1.1 – Atrasos em função do aumento no número de dispositivos e mobilidade.....	65
Tabela 6.2.2.1 – Carga em função do aumento no número de dispositivos e mobilidade.....	68
Tabela 6.2.3.1 – Taxa de taxa de transferência em função do aumento no número de dispositivos e mobilidade.....	71

LISTA DE ABREVIATURAS

ABR	Roteamento Baseado em Associação (Associativity-Based Routing)
AODV	Protocolo Vetor Distância <i>Ad Hoc</i> Sob Demanda (Ad Hoc On-Demand Distance Vector)
ATM	Modo de transferência Assíncrono (Asynchronous Transfer Mode)
BA	Comportamento Agregado (Behavior Aggregated)
CDT	Limiar de descarte congestive (Congestive Discart Threshold)
CEDAR	Roteamento <i>Ad Hoc</i> Distribuído com Extração de Núcleo (Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing)
CGSR	Roteamento de Comutação de Portal de Agrupamento Principal (Cluster-Head Gateway Switch Routing)
COS	Classe de Serviço (Class of Service)
CQ	Fila customizada (Custom Queue)
CSMA/CA	Múltiplo Acesso com Detecção de Portadora (Carrier Sense Multiple Access/Colision Avoidance)
CSS	Espalhamento Espectral usando Chirp (Chirp Spread Spectrum)
CTS	Livre para Enviar (Clear To Send)
DCF	Função de Coordenação Distribuída (Distributed Coordination Function)
DDR	Roteamento Dinâmico Distribuído (Distributed Dynamic Routing)
DIFFSERV	Serviço Diferenciado (Differentiated Service)
DIFS	Espaço Intra Quadro Distribuído (Distributed Inter Frame Space)
DFWMAC	Fundação de Distribuída de Controle de Acesso ao Meio (Distributed Foundation Wireless Medium Access Control)
DREAM	Algoritmo de Roteamento Distância para Mobilidade (Distance Routing Effect Algorithm for Mobility)
DRR	Deficiência Circular de Robin (Deficit Round Robin)
DS	Sequência Direta (Direct Sequence)
DST	Roteamento de Árvore Distribuída Periódica (Distributed Spanning Tree Routing)
DSCP	Serviço Diferenciado de Código de Ponto (Differentiated Service Code Point)
DSDV	Sequência Destino de Vetor Distância (Destination-Sequence Distance Vector)
DSR	Roteamento de Fonte Dinâmica (Dynamic Source Routing)
DSSS	Espalhamento Espectral usando Sequência Direta (Direct Sequence Spread Spectrum)
DV	Vetor Distância (Distance-Vector)
EDCA	Acesso Melhorado ao Canal Distribuído (Enhanced Distributed Channel Access)
FHSS	Espalhamento Espectral usando Saltos em Frequência (Frequency Hopping Spread Spectrum)
FIFO	Primeiro a Entrar Primeiro a Sair (First In First Out)
FORP	Protocolo de Roteamento Orientado ao Fluxo (Flow-Oriented Routing Protocol)
FSR	Roteamento de Estado Olho de Peixe (Fisheye State Routing)
FTP	File Transfer Protocol
GSR	Roteamento de Estado Global (Global State Routing)
HCCA	Função Híbrida Controlada de Coordenação de Acesso ao Canal (Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access)
HC	Coordenação Híbrida (Hybrid Coordination)
HQO	Mantenha a fila (Hold-Queue)

HSR	Roteamento de Estado Hierárquico (Hierarchical State Routing)
IEEE	Instituto de Engenharia Elétrica e Eletrônica (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
IARP	Protocolo de Roteamento Intrazona (IntraZone Routing Protocol)
IERP	Protocolo de Roteamento Interzona (InterZone Routing Protocol)
INTSERV	Serviço Integrado (Integrated Service)
ISI	Interferência Intersimbólica (Intersymbol Interference)
ITU	União Internacional de Telecomunicações (International Telecommunication Union)
LAN	Rede de Área Local (Local Area Network)
LAR	Roteamento Orientado a Localização (Location-Aided Routing)
LLC	Controle de Link Lógico (Logic Link Control)
LRM	Métrica Aditiva Baseada em Relaxamento de Lagrange (Lagrange Relaxation Based Additive Metric)
MANET	Redes <i>Ad Hoc</i> Móveis (Mobile Ad-hoc Networks)
MAC	Controle de Acesso ao Meio (Medium Access Control)
MH	Hospedeiros Móveis (Mobile Hosts)
MMWN	Suporte a Multimídia para Sistemas de Redes Sem fio (Multimedia Support for Wireless Network System)
MPR	Relés Multiponto (Multipoint Relays)
MRL	Lista de Retransmissão de Mensagem (Message Retransmission List)
NAV	Vetor de Alocação de Rede (Network Allocation Vector)
NIC	Cartão de Interface de Rede (Network Interface Card)
OFDM	Multiplexação por Divisão Ortogonal de Frequência (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)
OLSR	Roteamento Otimizado por Estado de Link (Optimized Link State Routing)
OPNET	Ferramenta Otimizada para Engenharia de Redes (Optimized Network Engineering Tools)
P2P	Ponto a Ponto (Peer to Peer)
PCF	Função de Coordenação de Ponto (Point Coordination Function)
PHB	Comportamento Por Salto (Per Hop Behavior)
PIFS	Espaço de Prioridade Inter Quadro (Priority Inter Frame Space)
PQ	Fila de Prioridade (Priority Queuing)
RDMAR	Roteamento de Micro-descoberta da Distância Relativa (Relative Distance Micro-discovery Ad Hoc Routing)
QAP	Ponto de Acesso com Qualidade (Quality Access Point)
QOS	Qualidade de Serviço (Quality of Service)
QSTA	Estações com Qualidade (Quality Stations)
RED	Detecção Aleatória Antecipada (Random Early Detection)
RERP	Pacotes com Erro de Rota (Route Error Packets)
RREQ	Requisição de Rota (Route Request)
RSVP	Protocolo de Reserva de Recurso (Resource ReSerVation Protocol)
RTS	Requisição Para Enviar (Request To Send)
SIFS	Espaço Curto Inter Quadro (Short Inter Frame Space)
SLA	Acordo de Nível de Serviço (Service Level Agreement)
SLURP	Protocolo de Roteamento baseado em Atualização Escalonável de Localização (Scalable Location Update based Routing Protocol)
SSA	Roteamento Adaptativo baseado na Estabilidade do Sinal (Signal Stability-based Adaptive routing)
SSR	Roteamento de Fonte Escalonável (Scalable Source Routing)

STARA	Algoritmo de Roteamento Adaptativo dependente do Tráfego e Sistema (System and Traffic-dependent Adaptive Routing Algorithm)
SWAN	Redes <i>Ad Hoc</i> Sem Fio Sem Estado (Stateless Wireless Ad Hoc Networks)
TBRPF	Transmissão de Topologia baseada no Caminho de Encaminhamento Reverso (Topology Broadcast based on Reverse-Path Forwarding)
TDM	Multiplexação por Divisão de Tempo (Time Division Multiplexing)
TH	Salto Temporal (Time-Hopping)
TORA	Algoritmo de Roteamento Ordenado Temporariamente (Temporally Ordered Routing Algorithm)
TOS	Type of Service
TXOP	Oportunidade de Transmissão (Transmission Opportunity)
VOIP	Voz Sobre o Protocolo de <i>Internet</i> (Voice Over Internet Protocol)
WFQ	Fila Justa por Peso (Weighted Fair Queuing)
WLAN	Rede de Área Local Sem Fio (Wireless Local Area Network)
WRP	Protocolo de Roteamento Sem Fio (Wireless Routing Protocol)
WRR	Fila Redonda de Peso Baseada em Robin (Weighted Round Robin)
ZHLS	Protocolo de Roteamento baseado em Zona Hierárquia e Estado de <i>Link</i> (Zone-based Hierarchical Link State routing protocol)

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO	16
1.1 PROBLEMAS E PREMISSAS.....	16
1.2 OBJETIVOS.....	16
1.3 OBJETIVOS GERAIS.....	17
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	17
1.5 JUSTIFICATIVA	17
1.6 REFERENCIAL TEÓRICO	17
1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS	18

CAPÍTULO 2

CONCEITOS DE REDES <i>WIRELESS</i>	19
2.1 INTRODUÇÃO	19
2.2 TOPOLOGIAS	19
2.2.1 PONTO A PONTO.....	19
2.2.2 TOKEN RING.....	19
2.2.3 ESTRELA	20
2.2.4 BARRAMENTO	20
2.2.5 ÁRVORE	21
2.2.6 MALHA	21
2.3 ARQUITETURAS.....	22
2.3.1 REDES INFRA ESTRUTURADAS	22
2.3.2 REDES <i>AD HOC</i>	23
2.4 TRANSMISSÃO DE DADOS	23
2.4.1 CAMADA FÍSICA.....	23
2.4.2 MÉTODOS DE TRANSMISSÃO	24
2.4.2.1 ESPALHAMENTO ESPECTRAL USANDO SEQUÊNCIA DIRETA (DSSS).....	25
2.4.2.2 ESPALHAMENTO ESPECTRAL USANDO SALTOS EM FREQUÊNCIA(FHSS).....	25
2.4.2.3 MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO ORTOGONAL DE FREQUÊNCIA (OFDM).....	26
2.4.3 PADRÕES 802.11 IEEE	27
2.4.3.1 PADRÃO 802.11E E WMM	28
2.4.4 CAMADA DE ENLACE	30
2.4.4.1 SUBCAMADA LLC	31
2.4.4.2 SUBCAMADA MAC.....	31
2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	32

CAPÍTULO 3

PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO <i>AD HOC</i>.....	33
3.1 INTRODUÇÃO.....	33
3.2 FUNÇÃO DCF	33

3.3	FUNÇÃO PCF.....	34
3.4	PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO <i>AD HOC</i>	35
3.4	PROTOCOLOS UNICAST	36
3.4.1.1	PROTOCOLOS PROATIVOS OU <i>TABLE DRIVE PROTOCOLS</i>	36
3.4.1.1.1	OLSR	36
3.4.1.1.2	WRP	37
3.4.1.1.3	DSDV	38
3.4.1.2	PROTOCOLOS REATIVOS OU <i>ON-DEMAND PROTOCOLS</i>	38
3.4.1.2.1	DSR.....	38
3.4.1.2.2	AODV	39
3.4.1.3	PROTOCOLOS HÍBRIDOS.....	39
3.4.1.3.1	ZRP	40
3.4.1.3.2	CEDAR	40
3.5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
CAPÍTULO 4		
MECANISMOS DE QOS		42
4.1	INTRODUÇÃO	42
4.2	ARQUITETURA QOS	42
4.3	DESAFIOS PARA FORNECER QOS EM MANETS	44
4.4	MODELOS QOS	45
4.4.1	INTSERV.....	45
4.4.2	DIFFSERV.....	45
4.4.2.1	TIPO DE SERVIÇO	46
4.5	POLÍTICAS DE ENFILEIRAMENTO	47
4.5.1	FILAS FIFO	47
4.5.2	FILAS PQ	48
4.5.3	FILAS CUSTOM QUEUING	50
4.5.4	FILAS WFQ.....	51
4.6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	53
CAPÍTULO 5		
MATERIAIS E MÉTODOS.....		54
5.1	INTRODUÇÃO.....	54
5.2	DESCRIÇÃO DAS APLICAÇÕES.....	54
5.3	DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS.....	56
5.4	DESCRIÇÃO DO <i>HARDWARE</i>	59
5.5	DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS	60
CAPÍTULO 6		
RESULTADOS		62
6.1	INTRODUÇÃO	62
6.2	EFEITOS DA VARIAÇÃO DE DISPOSITIVOS.....	62
E MOBILIDADE NA REDE		62
6.2.1	DELAY	62
6.2.2	LOAD	67
6.2.3	THROUGHPUT.....	70
6.3	EFEITOS DA VARIAÇÃO DE DISPOSITIVOS.....	73

COM MOBILIDADE PARA A APLICAÇÃO VOIP	73
6.3.1 ANÁLISE DOS CENÁRIOS COM 10 DISPOSITIVOS	73
6.3.2 ANÁLISE DOS CENÁRIOS COM 30 DISPOSITIVOS	77
6.4 ANÁLISE DOS EFEITOS DE PROVER QOS.....	81
6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	84
REFERÊNCIAS	85
RECOMENDAÇÕES.....	87

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Na última década, muita atenção tem sido voltada na área de redes *wireless*, devido a dois fatores principais: o crescente uso de dispositivos móveis (*smartphones*, *notebooks*, etc) e uma maior demanda de dados para aplicações de multimídias. Essa maior demanda exige uma maior fidelidade da rede, no entanto, algumas características destas redes dificultam este fornecimento [1].

1.1 PROBLEMAS E PREMISSAS

As redes *wireless* são motivo de bastante estudo entre os pesquisadores devido as suas características peculiares, as quais dificultam o fornecimento de qualidade de serviço, tais características são: a alta mobilidade, restrições de banda, perdas no meio e recursos [2].

Além destes fatores inerentes as redes sem fio, problemas como restrições de banda ou requisitos mínimos para aplicações, tornam-se mais comuns nos dias de hoje devido a crescente demanda. Sendo necessário oferecer tratamentos diferenciados, pois cada aplicação pode sofrer de um jeito. Em outras palavras, é fundamental prover qualidade de serviço nas redes, especialmente em redes sem fio [2].

1.2 OBJETIVOS

Inicialmente, neste trabalho será feito um estudo desde as principais topologias redes, das arquiteturas, padrões 802.11 IEEE, até parte do funcionamento interno de algumas das camadas de rede (camada física e de enlace).

Compreendido o funcionamento das camadas mais baixas, um breve estudo dos protocolos de redes sem fio *ad hoc* será feito, e em seguida, apresentado conceitos de *Quality of Service* (QoS) e alguns mecanismos para tal.

1.3 OBJETIVOS GERAIS

Os objetivos gerais deste trabalho como os parâmetros citados em 1.1 influenciam na oferta de QoS nas *Mobile Ad Hoc Networks* (MANETs). Além disto, como os mecanismos que fornecem QoS respondem nos diferentes cenários propostos adiante.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Estudar as topologias e tecnologias de redes sem fio;
- Estudar os protocolos de roteamento MANET;
- Estudados conceitos e mecanismos de QoS;
- Simular os diferentes cenários;
- Analisar as simulações por meio dos diferentes parâmetros QoS.

1.5 JUSTIFICATIVA

As principais razões para as análises sobre as MANETs são: a limitada disponibilidade de recursos no meio de transmissão, e o dinamismo devido a mobilidade.

Os parâmetros QoS utilizados para as análises são: diferentes tipos de atrasos, carga, taxa de transferência, perdas [3].

1.6 REFERENCIAL TEÓRICO

O referencial teórico será baseado em livros da área, em artigos do *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), artigos da *web* e recomendações do *International Telecommunication Union* (ITU) e IEEE.

1.7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Foram apresentados resumidamente os objetivos e a justificativa deste estudo, tornando evidente a importância do trabalho.

CAPÍTULO 2

CONCEITOS DE REDES *WIRELESS*

2.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão desenvolvidos os conceitos fundamentais para a compreensão do trabalho proposto sobre QoS em redes móveis, inicialmente será abordado sobre as topologias em seguida as arquiteturas e por fim os padrões 802.11 *wireless*.

2.2 TOPOLOGIAS

Existem vários tipos de topologias, e cada uma com suas peculiaridades, estas são essenciais para organização das redes, tanto física (aparência) quanto lógica (fluxo de dados).

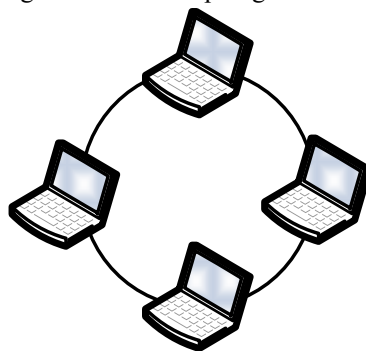
2.2.1 PONTO A PONTO

As redes ponto a ponto são uma das topologias de redes mais simples, onde cada um dos pontos ou nós da rede funcionam tanto como cliente quanto como servidor, sem a necessidade de um servidor central [4].

2.2.2 TOKEN RING

A Figura 2.2.2.1 ilustra a rede *token ring*, ou anel, onde as estações são conectadas num circuito fechado para a transmissão dos dados de nó em nó até atingir o seu destino [4].

Figura 2.2.2.1 – Topologia em anel.

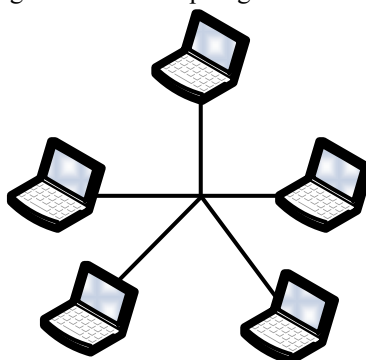


Fonte: Adaptado de [4].

2.2.3 ESTRELA

A Figura 2.2.3.1 ilustra a rede em estrela. Esse tipo de rede mais comuns, toda informação passa por uma estação central, que deve conectar as estações e distribuir o tráfego [4].

Figura 2.2.3.1 - Topologia em estrela.

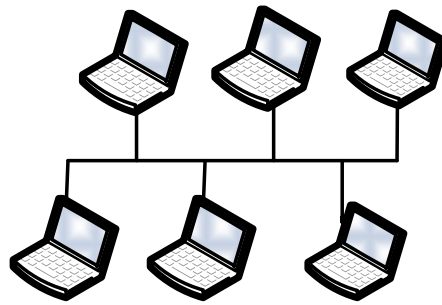


Fonte: Adaptado de [4].

2.2.4 BARRAMENTO

A Figura 2.2.4.1 ilustra a rede que utiliza o mesmo barramento físico de dados, apenas uma máquina pode “escrever” num dado momento, e as demais “escutam” e absorvem os dados destinados. Simples e confiável. Mas a rede pode ficar extremamente lenta em situações de tráfego pesado, e uma falha no barramento paralisa a rede [4].

Figura 2.2.4.1 - Topologia de barramento.

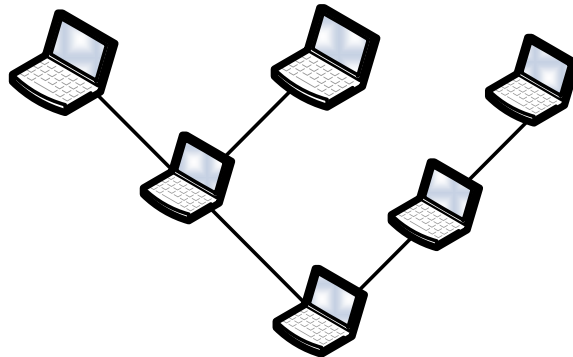


Fonte: Adaptado de [4].

2.2.5 ÁRVORE

A Figura 2.2.5.1 ilustra a topologia em árvore onde cada ramificação implica que o sinal deverá propagar por 2 novos caminhos. Logo, as redes em árvore irão trabalhar com taxas de transmissão menores do que as redes em barramento comum. Atualmente não é utilizada, pois uma falha pode acarretar no comprometimento da rede [4].

Figura 2.2.5.1 - Topologia em árvore.

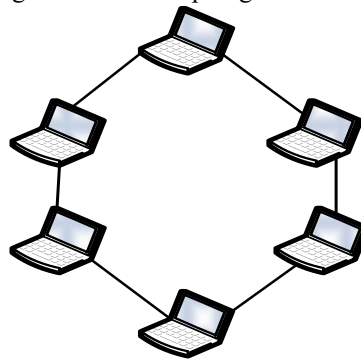


Fonte: Adaptado de [4].

2.2.6 MALHA

As redes não infra estruturada, ou as redes *ad hoc*, fundamentam utilizam topologias de redes como a topologia em malha [4], ilustrada na Figura 2.2.6.1.

Figura 2.2.6.1 - Topologia em malha.



Fonte: Adaptado de [4].

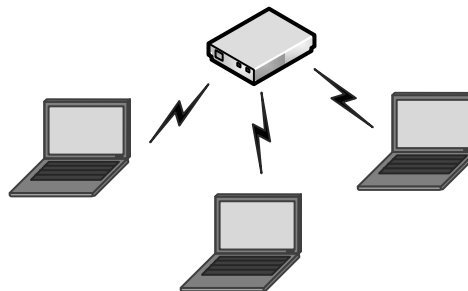
2.3 ARQUITETURAS

Segundo [5] uma rede sem fio 802.11, padrão IEEE, pode ser classificada como: redes infra estruturadas e redes *ad hoc*. Uma rede infra estruturada necessita de uma estação base, por onde passa a comunicação da rede. Já as *ad hoc* não necessitam de estação base, desta forma não existe um ponto único de falha, tendo a vantagem de ser tolerante a falhas.

2.3.1 REDES INFRA ESTRUTURADAS

Grande parte das *Wireless Local Area Networks* (WLANs) de hoje em dia são redes infra estruturadas, como a ilustrada na Figura 2.3.1.1. Nas quais, a transferência de dados ocorre entre uma estação e um ponto de acesso, ou *access point* (AP). Os APs são nós especiais responsáveis pela captura e retransmissão das mensagens enviadas pelas estações, onde a transferência de dados ocorre entre duas estações. Os APs também podem funcionar como uma ponte para outra rede (cabeada ou sem fio) [5].

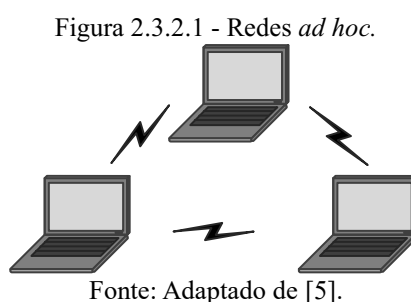
Figura 2.3.1.1 - APs em uma rede infra estruturada.



Fonte: Adaptado de [5].

2.3.2 REDES *AD HOC*

A Figura 2.3.2.1 ilustra a topologia básica de uma rede *ad hoc* que não necessita de nenhuma infraestrutura para funcionar. Consiste de dois ou mais nós *mobile hosts* (MH), que podem se comunicar entre si, podendo estar em movimento e conectando-se com diferentes MH por onde passa. Se estes MHs não estiverem na mesma área de cobertura, o caminho entre os mesmos pode ser feito por vários saltos (*hops*) através de outros computadores ou dispositivos [5].



Esse tipo de arquitetura não tem infraestrutura e, por isso os dispositivos têm de ser capazes de comunicar entre si diretamente, podendo até alterar a conectividade entre os nós. É importante salientar uma desvantagem das redes *ad hoc* em relação as redes infra estruturadas, é a de não oferecerem garantias de QoS, ou qualidade de serviço, ao tráfego transportado [5], o que será melhor definido adiante.

2.4 TRANSMISSÃO DE DADOS

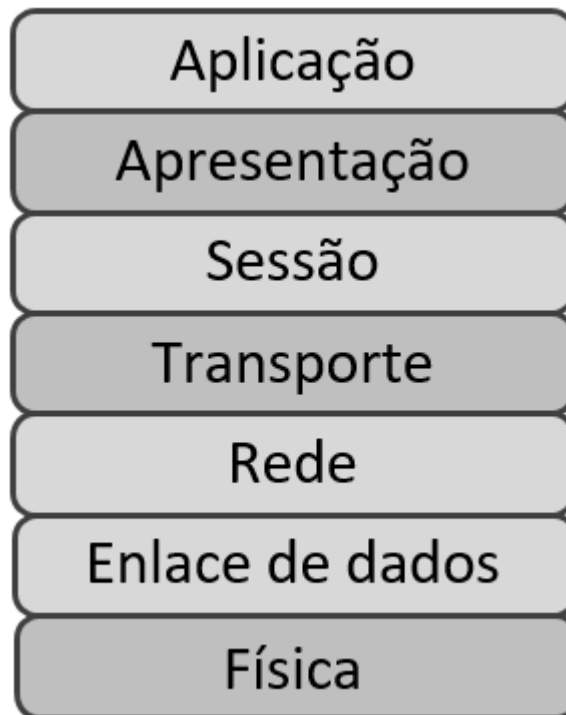
Os padrões IEEE 802.11 apresentam um conjunto de especificações para a implementação de WLANs para a camada física, subseção 2.4.1, e para o controle de acesso ao meio (*Medium Access Control* (MAC)), subseção 2.4.4.2.

2.4.1 CAMADA FÍSICA

A camada física (PHY, Layer-1 ou L1) no padrão 802.11 é a encarregada de transmitir (em banda base – codificação; banda passante – modulações) os quadros por um

canal. É a camada mais baixa da hierarquia do modelo OSI, onde as propriedades dos diferentes tipos de canais físicos que determinam o desempenho, podendo variar em função de: *throughput*, latência, taxa de erros, entre outras [6].

Figura 2.4.1.1 - Modelo OSI.



Fonte: Adaptado de [6].

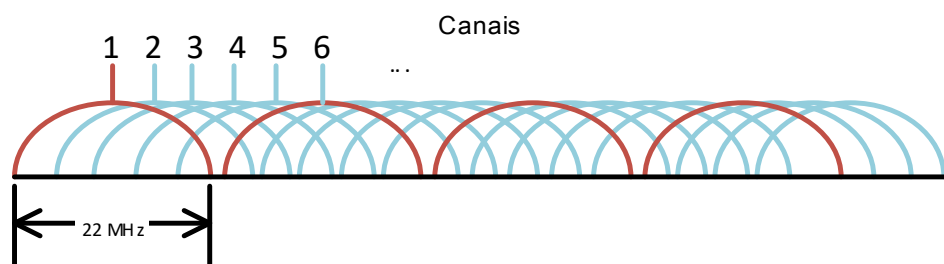
2.4.2 MÉTODOS DE TRANSMISSÃO

A comunicação *wireless* pode ser realizada por meio de pulsos elétricos ou ópticos, onde cada padrão geralmente possui tecnologias de múltiplo acesso de transmissão diferentes, pode-se citar: *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS), *Frequency Hopping Spread Spectrum* (FHSS) e *Orthogonal Frequency Division Multiplexing* (OFDM) [6]. Estes possibilitam uma maior segurança nas transmissões afim de camuflar o sinal, reduzindo interferências.

2.4.2.1 ESPALHAMENTO ESPECTRAL USANDO SEQUÊNCIA DIRETA (DSSS)

O método de espalhamento espectral por sequência direta transmite os dados em um único canal de 22 MHz de largura dentro de uma banda de 2.4 GHz, não tendo troca de frequência, conforme a Figura 2.4.2.1.1. Com este método evita-se interferências advindas de fontes intencionais ou não [7].

Figura 2.4.2.1.1 - Sistema de canal usando sequência direta.

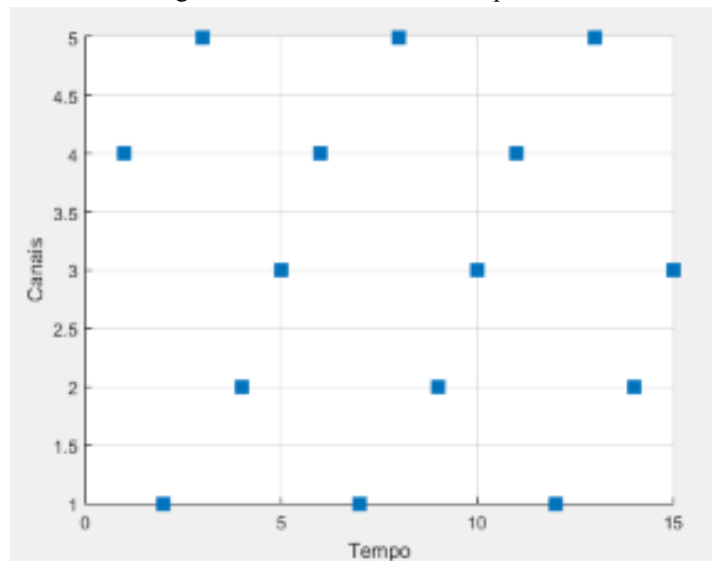


Fonte: Adaptado de [7].

2.4.2.2 ESPALHAMENTO ESPECTRAL USANDO SALTOS EM FREQUÊNCIA(FHSS)

O método por salto em frequências divide o sinal em frequências menores, separados em slots, são transmitidos posteriormente. Realizando o rápido chaveamento na frequência de transmissão em cada período de tempo. Além disso, o transmissor e receptor possuem conhecimento de uma sequência pseudoaleatória, a qual ajuda no sincronismo de saltos [7].

Figura 2.4.2.2.1 - Saltos em frequência.



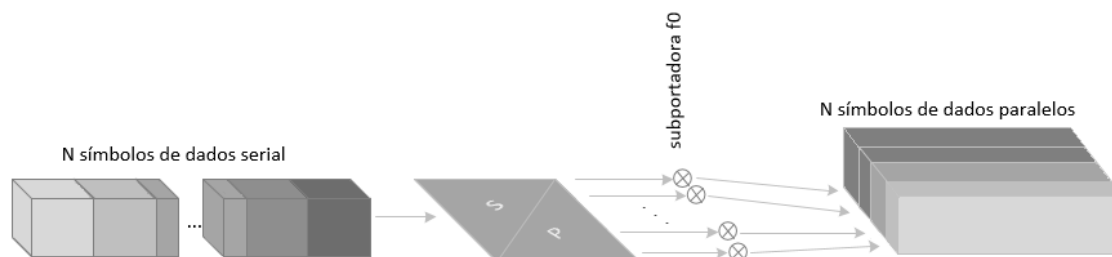
Fonte: Adaptado de [7].

2.4.2.3 MULTIPLEXAÇÃO POR DIVISÃO ORTOGONAL DE FREQUÊNCIA (OFDM)

A tecnologia OFDM é a mais moderna atualmente para transmissão de dados em redes Wi-Fi. Esta divide a banda de frequência atribuída (fluxo de dados serial) em um certo número de subportadoras (múltiplos sub-fluxos) de frequências menores. Estas subportadoras são ortogonais, permitindo transmitir dados simultaneamente (paralelismo), sem interferência entre elas [7].

A maior vantagem do uso de OFDM em relação as demais técnicas é que esta consegue manter a mesma taxa de transferência (paralelismo), entretanto com maior resistência a condições ruins do meio, tais como: atenuação de altas frequências, *Intersymbol Interference* (ISI), *Multipathing* (devido a reflexão) [7].

Figura 2.4.2.3.1 - Esquema de geração de subportadoras OFDM.



Fonte: Adaptado de [7].

Além destes, existem outros métodos: *Chirp Spread Spectrum* (CSS) e o *Time-Hopping* (TH), no entanto estes não são largamente utilizados, e para este trabalho não os levarei em conta.

2.4.3 PADRÕES 802.11 IEEE

O ITU, é a agência responsável pelo gerenciamento do espectro de radiofrequência, recursos de órbitas de satélites no âmbito internacional, e composição de normas para o uso destes (ITU-R M. 1450-4). O qual definiu faixas de frequências de operação para os cartões de interface de redes ou *Network Interface Cards* (NICs) das WLAN do mundo, conforme a Tabela 2.4.3.1.

Tabela 2.4.3.1 - Frequências para os NICs em WLANs do mundo.

Jurisdicção	Faixa (GHz)	Canais Distintos	Canais sem sobreposição	Restrições de potência
EUA, Canadá	2,401 – 2,4835	11	3	1W irradiado
	5,15 – 5,35	8	8	50-250 mW irradiado 3
Brasil	2,400 – 2,4835	11	3	1W
	5,15 – 5,35	8	8	EIRP ≤ 200 mW 5
	5,47 – 5,725	11	11	250 mW e EIRP ≤ 1W
	5,725 – 5,850	5	5	1W
ETSI 1 (Europa)	2,401–2,4835	13	4	100mW ERP até 1 W 4
	5,15 – 5,35; 5,47 – 5,725	19	19	
Japão	2,4 – 2,495	14	4	10mW/MHz 2
	4,9-5;5,15-5,25	8	8	10mW/MHz

Fonte: Adaptado de [ITU-R M. 1450-4].

Os padrões 802.11 são um conjunto de especificações da subcamada MAC e física (PHY, Layer-1 ou L1) para implementação de WLAN em comunicações em bandas de 900

MHz, 2.4, 3.6 e 5 GHz (*ITU-R M. 1450-4*). Resumidamente, os padrões mais utilizados são mostrados na Tabela 2.4.3.2.

Tabela 2.4.3.2 - Padrões 802.11 IEEE.

Standard	Frequency Band	Bandwidth	Modulation Scheme	Channel Arch.	Maximum Data Rate	Range	Max Transmit Power
802.11	2.4 GHz	20 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, FHSS	2 Mbps	20 m	100 mW
b	2.4 GHz	21 MHz	BPSK to 256-QAM	CCK, DSSS	11 Mbps	35 m	100 mW
a	5 GHz	22 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	54 Mbps	35 m	100 mW
g	2.4 GHz	23 MHz	BPSK to 256-QAM	DSSS, OFDM	54 Mbps	70 m	100 mW
n	2.4 GHz, 5 GHz	24 MHz and 40 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	600 Mbps	70 m	100 mW
ac	5 GHz	20, 40, 80, 80+80=160 MHz	BPSK to 256-QAM	OFDM	6.93 Gbps	35 m	160 mW
ad	60 GHz	2.16 GHz	BPSK to 64-QAM	SC, OFDM	6.76 Gbps	10 m	10 mW
af	54-790 MHz	6, 7, and 8 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	26.7 Mbps	>1 km ?	100 mW
ah	900 MHz	1, 2, 4, 8, and 16 MHz	BPSK to 256-QAM	SC, OFDM	40 Mbps	1 km	100 mW

Fonte: Adaptado de [8]

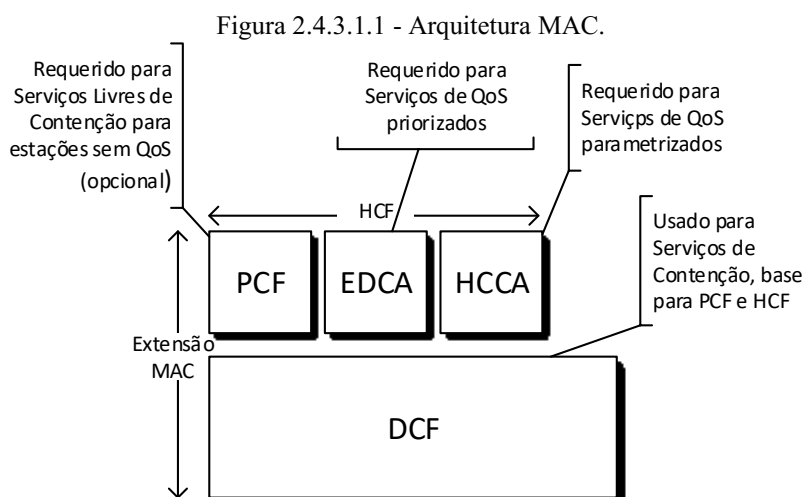
2.4.3.1 PADRÃO 802.11E E WMM

Os padrões 802.11 por si só não implementam meios de priorização de tráfego. Em uma rede local sem fio, que estejam operando com o *Distributed Coordination Function* (DCF) (o qual será posteriormente definido), a transmissão é para a estação com menor *backoff time* (tempo de recuo). Como este período é definido com base na janela de contenção (fornecidos pelo 802.11), não existe direito de prioridade na transmissão (*802.11e Recommendation*). Como consequência, aplicações como áudio e vídeo possuiriam a mesma prioridade, baseadas no método de transmissão *best effort*. Seria impraticável sobre uma rede corporativa o igual tratamento, pois aplicações de multimídia (video, voz) em tempo real necessitam de otimizações diferentes.

O padrão 802.11e definido pelo IEEE, veio a oferecer o tratamento de acesso ao meio, dividido em dois métodos, os quais asseguram requisitos de QoS, estes são:

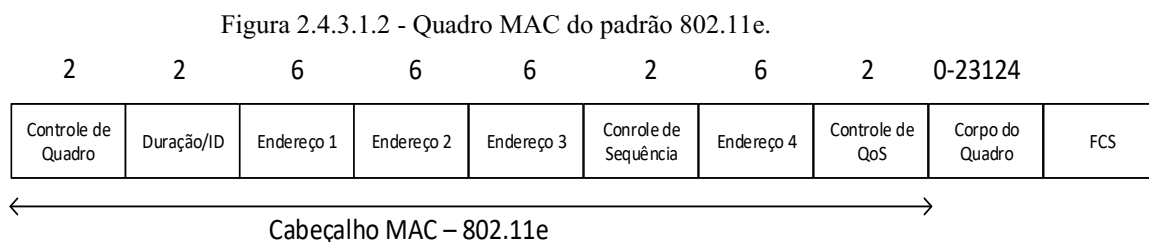
- *Enhanced Distributed Channel Access (EDCA)*: fornece um mecanismo pelo qual o tráfego pode ser priorizado. Determina que os tráfegos de maior prioridade têm maior chance de emitir pacotes, em comparação aos de prioridades inferiores. A cada camada de prioridade é associado um *Transmission Opportunity (TXOP)*, assegurando a transmissão de pacotes (fragmentados ou não) dentro deste intervalo TXOP (*802.11e Recommendation*).
- *Hybrid Coordination Function Controlled Channel Access (HCCA)*: possibilita a reserva das oportunidades TXOPs, através de um mecanismo chamado *Hybrid Coordinator (HC)* (*802.11e Recommendation*).

As estações que utilizam o 802.11e são designadas de *Quality Stations (QSTA)* e os APs de *Quality Access Point (QAP)* (*802.11e Recommendation*).



Fonte: Adaptado de [802.11e Recommendation].

O quadro MAC do padrão 802.11e apenas adiciona um campo para QoS, conforme a Figura 2.4.3.1.2.



Fonte: Adaptado de [802.11e Recommendation].

Fundamentalmente, existe um subconjunto do padrão 802.11e de redes WLAN, o WMM ou *Wi-Fi Multimedia*, pertencente a um certificado operacional da *Wi-Fi Alliance*, do qual trata de assegurar parâmetros QoS numa rede, priorizando pacotes de dados de acordo com algumas categorias (*802.11e Recommendation*). Variando da mais alta prioridade à mais baixa, são as seguintes categorias:

Tabela 2.4.3.1.1 - Tabela de prioridades QoS.

Prioridade	802.11e	
	Categoria de Acesso (AC)	Designação
MENOR	AC_BK	<i>Background</i>
	AC_BK	<i>Background</i>
	AC_BE	<i>Best Effort</i>
	AC_BE	<i>Best Effort</i>
	AC_VI	<i>Video</i>
	AC_VI	<i>Video</i>
	AC_VO	<i>Voice</i>
MAIOR	AC_VO	<i>Voice</i>

Fonte: Adaptado de [802.11e Recommendation].

Dispositivos e APs numa WLAN devem ser certificadas pela *Wi-Fi Alliance* para aproveitar dos recursos de QoS de WMM [802.11e Recommendation].

2.4.4 CAMADA DE ENLACE

A camada de enlace (L2 ou Layer-2) detecta e corrige erros que possam ocorrer na camada física (L1). Esta é responsável pela transmissão e recepção de quadros, e também pelo controle de fluxo. Pode ser dividida em duas subcamadas: a *Logic Link Control* (LLC) ou controle de enlace lógico e MAC ou controle de acesso ao meio. A subcamada LCC é igual a qualquer padrão 802.x, no entanto a subcamada MAC é exclusiva de redes WLAN [6 e 7].

2.4.4.1 SUBCAMADA LLC

A subcamada LLC fornece a comunicação entre dispositivos da camada de rede, para que se possa trocar dados de forma controlada e ordenada sobre uma conexão física, cujo o acesso é controlado por um protocolo do nível MAC [7].

2.4.4.2 SUBCAMADA MAC

É nesta camada que é realizado o endereçamento pelo endereço MAC, ou também chamado de endereço físico, o qual é um número único de 6 bytes, sendo os 3 primeiros identificando a origem (fábrica) definido pelo IEEE, e os 3 últimos um número único definido pelo fabricante [6].

No que se diz a respeito de redes *wireless*, o IEEE definiu um mecanismo denominado *Distributed Foundation Wireless Medium Access Control* (DFWMAC), o qual provê dois modos de acesso nomeados de funções de coordenação [9]. Ambos modos de acesso são caracterizados por definir quando ou não uma estação pode transmitir. São estas as funções:

- ***Distributed Coordination Function (DCF)***: é o modo de acesso distribuído básico, onde as decisões de quando ou não transmitir são operadas individualmente pelas próprias estações, havendo a possibilidade de colisões [9].

- ***Point Coordination Function (PCF)***: é um modo de acesso com controle centralizado, logo a decisão é de uma estação, minimizando assim as possibilidades de colisões, no entanto maior chance de falhas [9].

Uma estação poderá transmitir se houver um período de vago ou de “silêncio”, esta deve detectar se o meio se encontra livre por um período mínimo (*Inter Frame Space* (IFS)) antes de usá-lo. O mecanismo DFWMAC define prioridades de acesso ao meio, por meio de diferentes períodos de tempo:

- ***Distributed Inter Frame Space (DIFS)***: indica o maior tempo de espera aguardando um intervalo vago mínimo para ter o acesso ao meio. Numa transmissão de dados (baixa prioridade), este encontra-se entre quadros da função DCF;

- ***Short Inter Frame Space (SIFS)***: é o intervalo de espera para funções de maior prioridade. No geral, em quadros que contêm respostas curtas, por exemplo pacotes *Acknowledgment* (ACK).

- ***Priority Inter Frame Space (PIFS)***: é o intervalo de tempo intermediário do DIFS e o SIFS (prioridade média), é definido entre quadros da função PCF;

Em qualquer classificação, *ad hoc* ou infra estruturada, devem operar com a DCF, já a operação com PCF é opcional no caso de redes sem infraestrutura [9].

2.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foi mostrada a diferença entre redes infra estruturadas e as *ad hoc*. Um breve resumo da camada física foi apresentado, juntamente com os métodos de transmissões mais utilizadas em redes *wireless*, em seguida foi feita uma abordagem na camada de enlace e suas subcamadas, entrando por fim nos mecanismos de acesso da camada MAC.

CAPÍTULO 3

PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO *AD HOC*

3.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo serão abordados métodos dentro da subcamada MAC, os quais permitem alcançar transmissões monitoradas e sem colisões. Ligado a isto, os protocolos de roteamento *ad hoc unicast*.

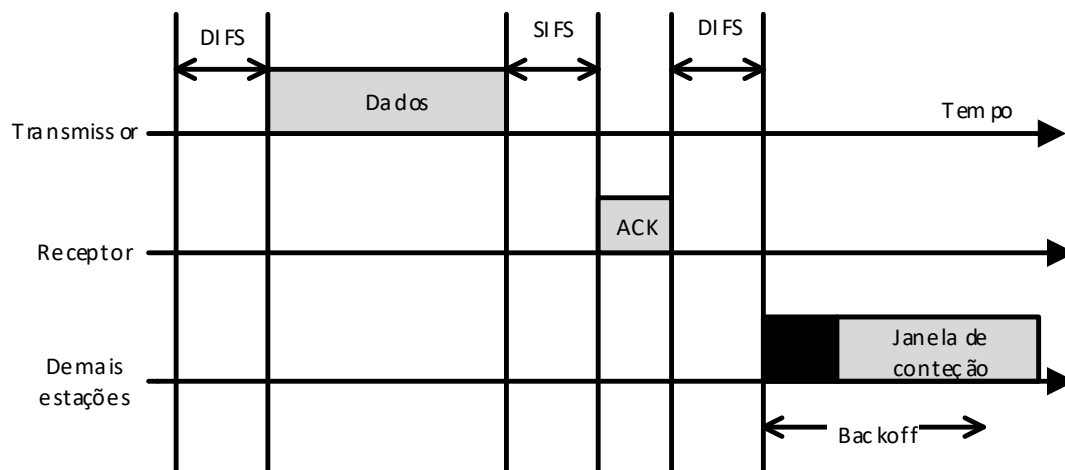
3.2 FUNÇÃO DCF

A função DCF é referida como *Carrier Sense Multiple Access/Colision Avoidance* (CSMA/CA), cuja as colisões são evitadas, solicitando a uma estação esperar um certo período de tempo aleatório antes de transmitir. Para atingir este objetivo, o algoritmo de CSMA/CA tem implementado um recurso chamado *backoff*, o qual permite as estações continuem monitorando o meio de transmissão, verificando o canal por um período DIFS e, se após este o canal estiver livre, realiza a transmissão. O receptor ao receber os dados aguarda um período SIFS e, assim, envia um ACK [9].

A Figura 3.2.1 mostra com maiores detalhes como seria uma transmissão DCF. Para uma estação dar início a uma nova transmissão, a mesma deve esperar um DIFS, se após este tempo o meio estiver em uso, as estações entram na fase de contenção. Nesta, cada uma escolhe um período aleatório dentro da janela de contenção, se após este ainda estiver ocupado, a estação sai do ciclo [9].

Outras funções fornecidas pela DCF são a permissão de transmissão *Request to Send* (RTS) baseado em solicitações e o *Clear to Send* (CTS), as quais evitam colisões de quadros. Numa nova transmissão, um quadro RTS é transmitido, informando a transmissão. Se o receptor o receber espera um SIFS, averiguando que nenhuma transmissão esteja acontecendo, e caso não esteja, envia um CTS, o que afirma: canal livre para transmissão, reservando o meio de acesso para transmissão. Por fim, o receptor recebendo o SIFS envia um ACK [9].

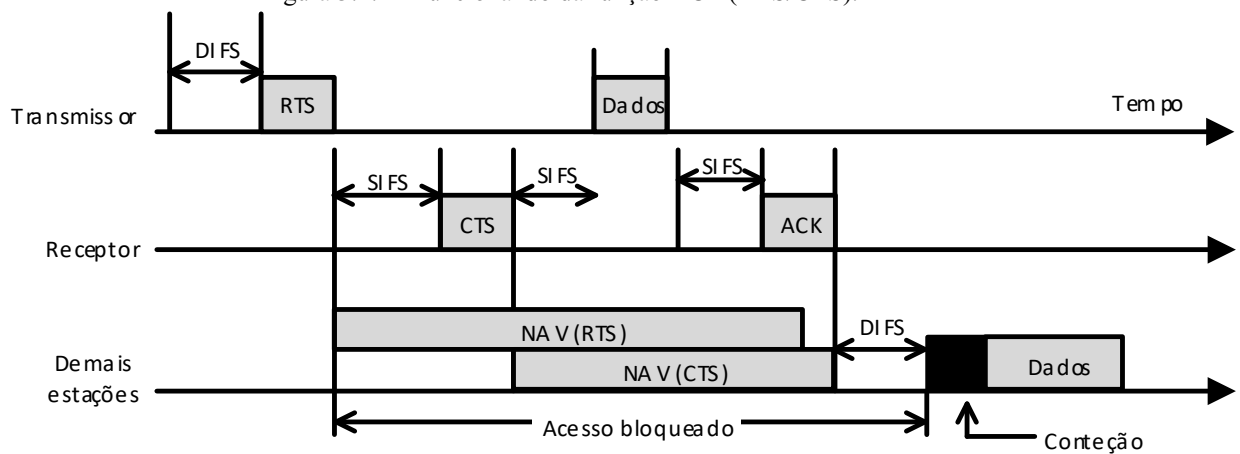
Figura 3.2.1 - Exemplo de transmissão DCF.



Fonte: Adaptado de [9].

A Figura 3.2.2 ilustra o funcionamento dos mecanismos de RTS/CTS. Eles oferecem recursos para estações que não participam da transmissão não precisarem ouvir o meio todo o tempo, através do *Network Allocation Vector* (NAV), ouvindo apenas quando o NAV estiver zerado [9].

Figura 3.2.2 - Funcionando da função DCF (RTS/CTS).



Fonte: Adaptado de [8].

3.3 FUNÇÃO PCF

A função PCF baseia-se em consultas periódicas às estações usando um AP para controlar o acesso ao meio, determinando em cada momento, qual estação deve transmitir. Redes *ad hoc* não podem usar essa função, uma vez que não possuem nenhum nó central controlador [9].

3.4 PROTOCOLOS DE ROTEAMENTO *AD HOC*

Basicamente, os protocolos de roteamento são algoritmos de mapeamento da rede. Esse mapeamento feito por meio da tabela de roteamento, cuja a estruturação, atualização e manutenção mudam conforme a técnica de roteamento utilizada [9]. A Tabela 3.4.1 apresenta os principais protocolos de roteamento *wireless* para redes *ad hoc unicast*.

Tabela 3.4.1 – Protocolos de roteamento *ad hoc unicast*.

PROATIVOS		REATIVOS		HIBRIDOS	
DSDV	CGSR	AODV	SSR	CEDAR	DDR
WRP	GSR	DSR	SSA	ZRP	STARA
OLSR	STAR	FORP	RDMA	ZHLS	FSR
DREAM	MMWN	LRM	LAR	SLURP	
TBRPF	HSR	ABR		DST	

Fonte: Adaptado de [9].

O roteamento pode ser dividido em roteamento estático e roteamento dinâmico.

- **Roteamento estático:** utiliza uma rota pré-definida configura manualmente pelo administrador de rede.
- **Roteamento dinâmico:** utiliza protocolos de roteamento que gerenciam rotas de acordo com tráfego e topologia.

Analisando de forma mais profunda, o roteamento dinâmico pode tratar o roteamento como *Flat* ou Hierárquico.

- **Roteamento flat:** todos os nós são iguais e o roteamento de pacotes é do tipo P2P (Ponto a ponto).
- **Roteamento hierárquico:** é dividido em duas camadas: a mais baixa é onde os nós próximos criam redes P2P, assim em cada uma destas redes ao menos um nó deve servir como “*gateway*” para a camada superior. Estes nós “*gateway*” criam a camada superior, a qual exige mais recursos de transmissão/recepção [9].

Neste trabalho serão descritos apenas os protocolos de roteamento mais conhecidos, contudo é evidente a existência de diversos outros também importantes (Tabela 3.4.1).

3.4 PROTOCOLOS UNICAST

Os protocolos de roteamento *unicast* são divididos em três tipos: proativos, reativos e híbridos [10,11].

3.4.1.1 PROTOCOLOS PROATIVOS OU *TABLE DRIVE PROTOCOLS*

Neste tipo de protocolo de roteamento *unicast* o nó retém informações sobre a topologia da rede, difundindo informações por toda a rede periodicamente. Alguns dos algoritmos proativos utilizam essas informações para construir as melhores rotas fim-a-fim. Este tipo de protocolo não há perda de tempo buscando uma rota, no entanto em uma rede com muitos nós ou alta mobilidade o mesmo se torna ineficiente [10].

São protocolos de roteamento proativos: *Optimized Link State Routing* (OLSR), *Wireless Routing Protocol* (WRP), *Destination-Sequence Distance Vector* (DSDV).

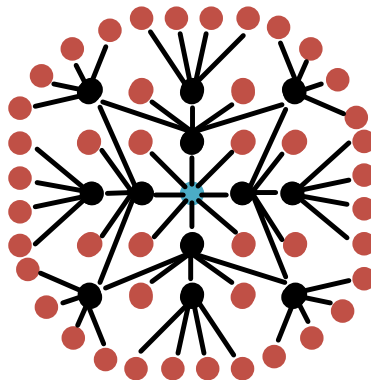
3.4.1.1.1 OLSR

O OLSR é aperfeiçoamento do protocolo *link-state*, mas este possui maior destaque por ser mais utilizado, no que diz a respeito redes *ad hoc* móveis (MANETs). Devido à importância em manter as rotas nas redes *ad hoc*, é crucial um protocolo de roteamento eficiente de melhor caminho, o OLSR. O mesmo é um protocolo proativo, pois periodicamente troca informações com os nós da rede, de modo a atualizar constantemente suas tabelas de roteamento (informações de rotas) e mensagens de atividades de links [10].

O uso do OLSR é vital para redes *ad hoc*, pois sem ele um nó quando recebe um pacote, normalmente retransmitiria aos nós vizinhos. Ocorrendo o que se chamam de “inundação” (*flooding*), e todos os nós receberão os pacotes. No entanto cada um receberá o mesmo várias vezes de diferentes vizinhos, gerando overhead, ou seja, a rede ficará sobrecarregada. Assim, com OLSR funcionando, o número de nós que retransmitirá será limitado. Dentre os nós da rede, haverá os chamados *Multipoint Relays* (MPR), escolhidos entre seus nós vizinhos e localizados a um *hop* (salto). Logo, quando uma informação de atualização da rede chega somente os MPR poderão retransmitir adiante, assim cada nó receberá uma vez as informações. A filosofia por trás do MPRs é minimizar a quantidade de mensagem na rede –

limitando a quantidade de nós da rede que encaminha estados de enlace – reduzindo retransmissões desnecessárias e redundância na mesma [10,11].

Figura 3.4.1.1.1.1 - OLSR Funcionando com MPR.



Fonte: Adaptado de [10].

3.4.1.1.2 WRP

O WPR usa uma versão melhorada do protocolo de roteamento *distance-vector* (DV) o qual usa o algoritmo de *Bellman-Ford* para calcular os caminhos. O WRP usa mensagens de atualização para descobrir e gerenciar rotas, estas ficam armazenadas numa *Message Retransmission List* (MRL), no entanto estas podem ser perdidas numa mudança na topologia. Um nó pode emitir uma mensagem de atualização (*Hello*) para todos seus vizinhos, e estes responderem com um ACK, caso contrário o nó de origem atualiza sua tabela e considera que o link entre o que não respondeu está perdido (ficando fora de sua tabela). Ou num intervalo de 4 mensagens de atualização (três *HelloInterval* – intervalo entre duas mensagens). Cada nó gerencia 4 tabelas: tabela de distância, tabela de roteamento, tabela de custo de link e tabela de lista de mensagem de retransmissão (MRL). A MRL contém o número de sequência da mensagem de atualização, uma retransmissão contada e uma lista de atualizações é mandada na mensagem de atualização [10, 11].

A problemática do protocolo de *Bellman-Ford* de contar até infinito, é resolvida pelo WRP. Essa contagem ao infinito ocorre quando um roteador alimenta outro com informações antigas e continua propagando na rede ao infinito. No entanto, há desvantagens: de requerer uma grande quantidade de memória para as quatro tabelas, e mandar a mensagem de *Hello* periodicamente consome energia e largura de banda [10].

3.4.1.1.3 DSDV

O DSDV também é um protocolo pró ativo, este é um protocolo baseado no algoritmo de *Bellman-Ford*, com eliminação de *loops* e implementação de números sequenciais. O DSDV fornece um único trajeto ao destino, baseado em uma tabela em cada nó, esta armazena todos os possíveis caminhos e a quantidade de saltos até os mesmos.

Cada entrada nessa tabela é sinalizada com uma sequência que identifica rotas velhas das novas, evitando *loops*. Para atualizar as tabelas o protocolo utiliza dois pacotes *full dump*, os quais transmitem todas as informações de roteamento e os pacotes incrementais, que apenas complementam as informações enviadas no último *full dump*. Quando um roteador faz um *broadcast* para novas rotas, ele inclui o endereço de destino, número de saltos até o destino (métrica), o número de sequência da informação original sobre o destino (próximos) e o número de sequência para o *broadcast* [10].

As atualizações podem ser do tipo incremental *update* ou *full update*. No modo incremental os nós enviam aos vizinhos somente as mudanças ocorridas, já no modo “completo” enviam informações da sua tabela inteira [10, 11].

3.4.1.2 PROTOCOLOS REATIVOS OU *ON-DEMAND PROTOCOLS*

Esta vertente de protocolos de roteamento troca informações somente quando necessário. Possui uma sobrecarga menor comparado aos proativos, mas possui as desvantagens de sempre introduzir atrasos quando necessário encontrar rotas, e inundações excessivas, que podem levar a rede ficar obstruída [10].

São protocolos de roteamento reativos (demaís ver Tabela 3.4.1): *Dynamic Source Routing* (DSR) e *Ad Hoc On-Demand Distance Vector* (AODV).

3.4.1.2.1 DSR

O DSR é um protocolo de roteamento sob demanda, logo não faz troca periódica de informações de roteamento, havendo uma certa economia de recursos como energia e largura de banda. No entanto a principal característica deste protocolo é a adaptação em redes onde a velocidade de mobilidade dos nós é baixa, pois não há troca de informações a respeito da

topologia da rede. Cada nó armazena um *cache* de roteamento, contendo rotas já descobertas. Uma característica peculiar deste protocolo é o roteamento por fonte, o qual permite ao pacote de origem conhecer toda rota até o destino [10, 11].

O protocolo DSR pode ser dividido em outros dois sub protocolos: de descoberta e manutenção de rotas. No sub protocolo de descoberta, o nó origem envia por *broadcast* aos vizinhos um pacote de requisição de rota, cada nó que receber, verifica em seu *cache* uma rota para o nó destino. Se existir, o nó destino recebe um pacote contendo toda rota, mas caso não exista, os nós guardam seu endereço no registro de roteamento e repassam a todos vizinhos por *broadcast*, repetindo até que o pacote chegue ao destino. Em um *link* bidirecional, caso não houvesse problemas na comunicação, o nó origem teria conhecimento de todas as rotas possíveis aos destinos. Assim, o protocolo DSR possui a vantagem de uma rota ser estabelecida somente quando é requerida e a necessidade de encontrar rotas para todos nós é eliminada. E outra, o *cache* de rotas é utilizado pelos nós intermediários (entre origem e destino) para reduzir o *overhead* de controle [10].

3.4.1.2.2 AODV

O AODV foi criado fundamentalmente para ser um protocolo adaptativo a ambientes de alta mobilidade, evitando desperdício de banda e reduzindo o processamento nos nós. A tabela de roteamento é preenchida da seguinte forma: o nó de origem envia um pacote *Route Request* (RREQ) aos vizinhos, este processo continua até o nó destino, ou um intermediário que conheça o destino. Um destes dois processos citados envia um pacote *Route Reply* (RREP) ao nó de origem, atualizando as tabelas dos nós da rota. Neste protocolo o processo de manutenção de rotas é muito importante, pois como os nós são moveis, uma interrupção não seria atualizada. Quando um nó perde a comunicação, as mensagens de *Route Error* (RERR) são utilizadas para notificar os outros nós que tal *link* se encontra perdido [10,11, RFC 3561].

3.4.1.3 PROTOCOLOS HÍBRIDOS

Os protocolos de roteamento híbridos combinam as melhores características dos proativos e reativos, além de amenizam problemas de ambos protocolos. Pois, enquanto o

protocolo reativo demanda muito tempo para determinar a rota, o proativo ocupa mais banda durante as mensagens, além de mais processamento e memória [10].

São protocolos de roteamento híbridos: *Zone Routing Protocol* (ZRP) e *Core Extraction Distributed Ad Hoc Routing* (CEDAR).

3.4.1.3.1 ZRP

O protocolo ZRP é baseado em proativo e reativo. O ZRP especifica as chamadas zonas de roteamento, mais especificamente dois sub protocolos trabalham em conjunto, o *IntraZone Routing Protocol* (IARP) parte proativa, e *Interzone Routing Protocol* (IERP) parte reativa. Através do IARP, cada nó aprende a distância (mínima) para todos os nós na sua zona de roteamento, preenchendo sua respectiva tabela de roteamento. Enquanto o IARP encontra rotas dentro da zona, o IERP é encarregado de encontrar rotas entre os nós [10].

Para realizar a comunicação com nós periféricos o mesmo utiliza o *Bordercast Resolution Protocol* (BRP), o qual usa um mapa da zona de roteamento (tabela de roteamento) fornecido pelo IARP. O BRP possui um mecanismo especial de controle para conduzir requisições de rotas, o *Selective Broadcasting*, aumentando tremendamente o ganho em performance realizando “inundações” controladas [10, 11].

3.4.1.3.2 CEDAR

Este protocolo estabelece um núcleo dinâmico para a rede. O CEDAR é baseado na eleição de líderes, os quais são responsáveis pelo roteamento e propagação de rotas estáveis. Existem três conceitos chave do CEDAR [10]:

- **Extração de núcleo:** um conjunto de nós é distribuído e dinamicamente eleito para formar o núcleo da rede. Cada núcleo mantém a topologia local dos nós no seu domínio e também executa cálculo de rotas a favor destes nós [10].
- **Propagação de estado de *link*:** roteamento com QoS no CEDAR é alcançado pela propagação da disponibilidade de banda para os nós estáveis mais longes da rede, enquanto *links* de baixa largura de banda para os mais próximos [10].

- **Computação de roteamento:** a computação de rotas primeiro estabelece um caminho do núcleo domínio, da fonte ao destino. O caminho do núcleo provê a direcionalidade da rota fonte a destino [10].

3.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram abordadas as funções de coordenação, responsáveis por identificar quando ou não uma estação pode transmitir. Em seguida, descrito os principais tipos de protocolos *ad hoc unicast* das MANETs e suas características.

CAPÍTULO 4

MECANISMOS DE QOS

4.1 INTRODUÇÃO

As MANETs têm sido amplamente estudadas e implementadas nos últimos anos devido à mobilidade, facilidade de configuração e baixo custo de implantação, sendo uma alternativa interessante para indústrias e ambientes corporativos. Estes estudos têm se voltado principalmente para o cunho comercial, devido ao crescimento de aplicações de comunicação por voz *Voice over Internet Protocol* (VoIP), comunicações de vídeo (Skype, YouTube, Twitch), e outras [12].

No entanto, algumas aplicações necessitam de tratamentos diferenciados, pois são mais sensíveis que outras, e para que estas funcionem de forma eficiente alguns requisitos são necessários. Estes são importantes para que, por exemplo, para que uma aplicação VoIP não chegue com atrasos, eco ou outros problemas. Devido a essas sensibilidades, aplicações de mídia são muito utilizadas para avaliar parâmetros de QoS [12].

As MANETs apresentam as suas próprias dificuldades. Características como a falta de uma coordenação central, mobilidade dos dispositivos e limitada disponibilidade de recursos e dentre outras, complicam o fornecimento de qualidade de serviço para estas aplicações [13].

A qualidade de serviço como um todo engloba 4 funcionalidades principais: modelos QoS, sinalização de reserva de recursos QoS, Roteamento QoS, QoS MAC. Os modelos QoS definem a arquitetura do serviço sobre toda a estrutura QoS, o que será melhor discutido posteriormente. A sinalização e reserva de recursos gerenciam serviços em tempo real entre os nós origem-destino. Já o roteamento QoS foca na identificação dos caminhos da rede que possibilitem capacidade suficiente para atender os requisitos de serviço. E QoS na subcamada MAC provê mecanismos para solucionar contenções e sustentar links confiáveis [13].

4.2 ARQUITETURA QOS

A arquitetura QoS também pode ser descrita da seguinte forma:

- **Controle de admissão:** são adotadas políticas de controle de admissão, geralmente atreladas ao *Internet Service Provider* (ISP) ou ao *Service Level Agreement* (SLA), entre o inscrito e o ISP. Realiza a regularização do tráfego para garantir que não leve a uma sobrecarga na rede ou degradação de serviços [13].

- **Classificação de tráfego e agendamento:** o agendamento é baseado na taxa de alocação de serviço da classe do tráfego, o qual compartilha um *buffer* em comum. É o mecanismo que seleciona um pacote para a transmissão que aguardaram na fila, controlando a alocação de largura de banda [13].

- **QoS – Estado *hard* versus *soft*:** o *hard-state* de conexão é orientado a comunicação (exemplo: circuitos virtuais) e garante QoS durante uma sessão de tempo. No entanto, essa técnica não é flexível o suficiente em MANETs onde o caminho e as reservas precisam responder dinamicamente a mudanças de topologia com o tempo [13]. Assim sendo, a abordagem *soft-state* é mais adequada para o gerenciamento de reservas em MANETs. Pois baseia-se no fato de que uma fonte envia pacotes de dados ao longo de um caminho existente. Se um pacote de dados chegar a um roteador móvel e não existir reserva, o controle de admissão e as reservas de recursos tenta estabelecer um *soft-state*. Os próximos pacotes àquele roteador serão usados para atualizar o estado de reserva (*soft-connection*), confirmando o estado no próximo intervalo [13].

- **Gerenciamento de *buffer*:** os mecanismos chave do gerenciamento do *buffer* são o controle de atraso e de descarte. O de atraso especifica o tempo onde o tráfego deve ser descartado, e o de descarte o tráfego a ser descartado. Estes mecanismos estão relacionados ao controle de congestionamento [13].

- **Reserva de recursos:** realizados com os mecanismos de sinalização tais como *Resource ReSerVation Protocol* (RSVP), ou mesmo algum mecanismo que aloque recursos como largura de banda [13].

- **Jitter de pacotes:** a variação estatística do atraso ou *jitter*, é um importante parâmetro a ser analisado. São atrasos flutuantes, ou o tempo a partir do qual um pacote é gerado na fonte até que seja recebido no receptor [13].

- **Delay fim a fim:** é o atraso acumulativo da transmissão, processamento e filas no roteador. Para aplicações interativas *delays* menores de 150 mili segundos não são perceptíveis para humanos, mas quanto menor melhor é a performance [13].

4.3 DESAFIOS PARA FORNECER QoS EM MANETS

Muita pesquisa tem sido feita afim de realizar suporte QoS em redes *wireless* convencionais. Abaixo estão listados os principais desafios em fornecer QoS para as redes MANETs:

- **Topologia de rede dinâmica:** em MANETs não há restrições na mobilidade. Assim, mudanças na topologia podem causar aos hosts um desconhecimento dos estados atuais do sistema. Uma sessão QoS pode sofrer devido a frequentes perdas de rotas, necessitando reestabelecer novos caminhos. Podendo aumentar e muito o *delay* dos pacotes durante uma sessão e nos prazos de entrega dos mesmos [13];
- **Canais sem fio são propensos a erros:** por estarem inseridas na banda de uso compartilhado (ISM), problemas como atenuações e interferências pode ocorrer. Além disto, fatores próprios das ondas de rádio como: ruído térmico, *shadowing* e desvanecimento de múltiplos caminhos, durante a propagação através do meio *wireless* [13];
- **Falta de uma central de coordenação:** as MANETs podem realizar um *set up* espontâneo sem planejamento e realizar mudanças dinâmicas, tornando difícil um controle centralizado [13];
- **Estado impreciso de informação:** os nós em uma MANET, mantêm os estados de link e também estado de fluxo. Os estados de link compreendem a largura de banda, *delay*, *delay do jitter*, taxa de perda, taxa de erros, estabilidade, custo e valores de distâncias de cada *link*. O estado de fluxo, são informações como: ID da sessão, endereço da fonte, endereço do destino e requerimentos QoS do fluxo. Estes podem ter seus valores propagados de forma imprecisa, principalmente por conta da mobilidade [13];
- **Limitada disponibilidade de recursos:** dispositivos móveis possuem menor capacidade de memória e fonte de energia limitada (bateria) comparada aos desktops (*wired networks*). Esse fator tem um grande impacto em prover QoS, uma vez que a baixa capacidade de memória limita a quantidade de estados QoS que podem ser armazenados, necessitando de uma maior frequência de atualizações, ficando sujeito a sobrecargas [13];
- **Hidden Terminal Problem:** é um problema inerente às MANETs. Este problema ocorre quando pacotes originados de dois ou mais nós não estão dentro do *range* de

transmissões, e estes colidem num receptor comum. Logo, seria necessário a retransmissão dos pacotes [13].

4.4 MODELOS QOS

Os modelos QoS definem o tipo de serviço e a classificação dos serviços. Além disto, estabelece objetivos a todos componentes do sistema, citados como funcionalidades QoS na seção 3.4.1.

4.4.1 INTSERV

No começo da década de 90 foi proposto um modelo chamado *Integrated Services* (IntServ), esta arquitetura descreveu ao conceito de qualidade de serviço relativa ao fluxo, mecanismos de controle de admissão e reserva de recursos. O processo de reserva e controle de admissão é praticado pelo protocolo de sinalização RSVP, por meio do encaminhamento de mensagens de sinalização em cada roteador. Esse protocolo tem o objetivo de observar e gerenciar recursos de acordo com a necessidade do fluxo, não havendo disponibilidade nos dispositivos, a reserva não é criada [15]. Porém, ele traz sérias dificuldades de escalabilidade, pelo fato dos dispositivos terem de manter o estado mesmo sem o uso da reserva, causando desperdício de recursos [15].

4.4.2 DIFFSERV

Outra proposta, foi a arquitetura *Differentiated Services* (DiffServ) que trata essencialmente de tráfego agregado, baseado em fluxos com requisitos semelhantes de QoS. Cada conjunto de fluxo pode ser vinculado a uma *Class of Service* (CoS), onde cada quadro é marcado na camada de enlace. Assim, fluxos que fazem parte do mesmo tráfego obterão tratamentos iguais pela rede, denominado *Behavior Aggregated* (BA) [16, 17]. A identificação de cada CoS é executada de forma explícita por meio da marcação de bits no cabeçalho do pacote IP no campo *Differentiated Service Code Point* (DSCP). Deste modo o DSCP define o

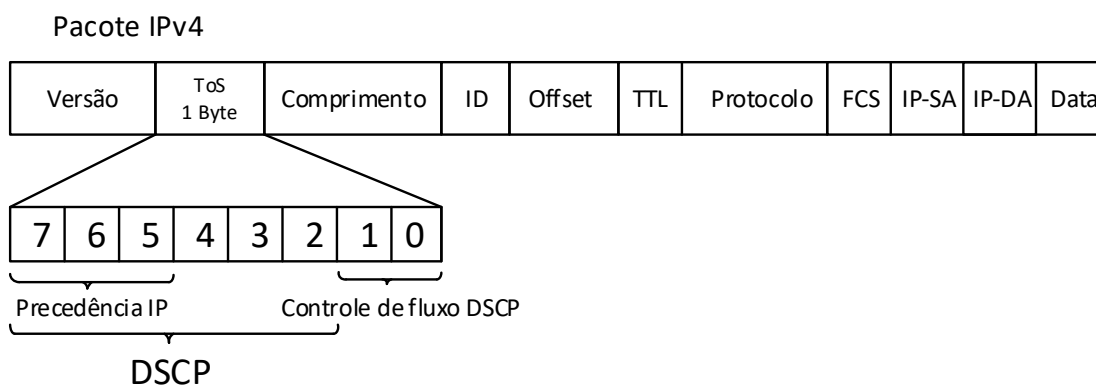
tratamento que será executado no transporte dos pacotes em cada roteador, ou seja, se ele terá maior ou menor prioridade. Esta marcação caracteriza o que chamamos de comportamento por salto *Per Hop Behavior* (PHB) [16,17].

Enquanto que na arquitetura IntServ os processos de reserva de recursos e controle de admissão são processados localmente pelos dispositivos, na arquitetura DiffServ estas tarefas são movidas para o nível do domínio da rede. Os domínios são um conjunto de nós trabalhando com a mesma política de serviços. Deste modo, são as regras do domínio que designam quais pacotes serão aceitos junto à rede. Essas políticas são armazenadas geralmente em uma entidade central e são processadas nas bordas da rede [16, 17].

4.4.2.1 TIPO DE SERVIÇO

O tipo de serviço, *Type of Service* (ToS) usa 1 byte do cabeçalho IP, permitindo a marcação dos pacotes na camada de rede. Indicado na Figura 4.4.2.1.1 [RFC 791].

Figura 4.4.2.1.1 – Pacote IPv4.



Fonte: Adaptado da RFC 791.

A campo ToS possui 8 bits, e sua principal função é possibilitar a categorização do tráfego por tipo de serviço durante a transmissão. Seis dos 8 bits do campo ToS representam o DSCP, e os outros 2 bits representam controle de fluxo, permitindo um conjunto de 256 valores, no entanto são utilizados somente 224 [14]. O valor 0 é a mais baixa prioridade e 224 a mais alta, ilustrado pela Figura 4.4.2.1.2 [OPNET].

Para utilizar o mecanismo de marcação de pacotes citado é necessário anunciar a escolha ao roteador ou dispositivo MANET, neste trabalho será utilizado os 3 primeiros bits do

campo ToS (Precedência IP). No *software* OPNET, as marcações podem utilizar a coluna mais a esquerda na Figura 4.4.2.1.2, ou a central e a mais da direita. As quais permitem o gerenciamento de *delay*, *throughput* e confiabilidade [OPNET e RFC 791].

Figura 4.4.2.1.2 – Mapa simbólico do campo ToS.

Best Effort (0)	0	AF11	40	AF33	120
Background (1)	32	AF12	48	AF41	136
Standard (2)	64	AF13	56	AF42	144
Excellent Effort (3)	96	AF21	72	AF43	152
Streaming Multimedia (4)	128	AF22	80	EF	184
Interactive Multimedia (5)	160	AF23	88		
Interactive Voice (6)	192	AF31	104		
Reserved (7)	224	AF32	112		

Fonte: *software* OPNET.

4.5 POLÍTICAS DE ENFILEIRAMENTO

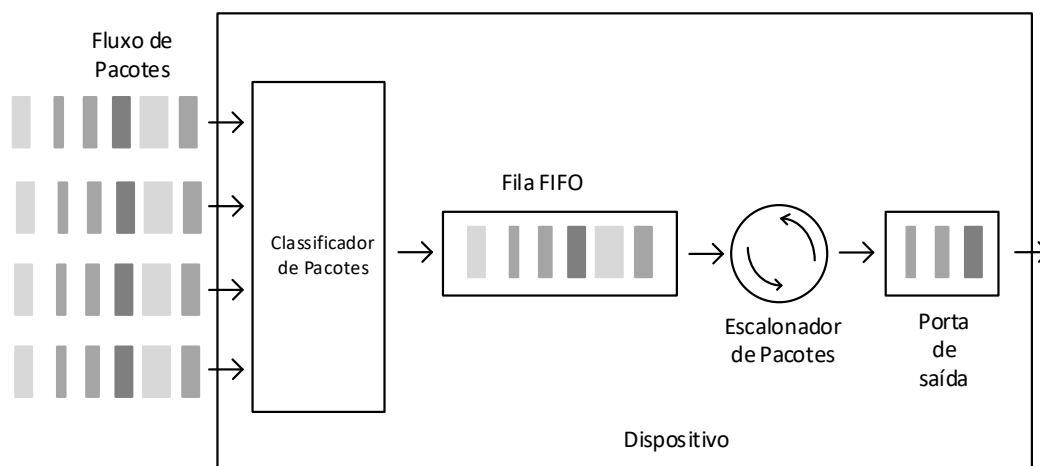
As funções das políticas de enfileiramento compreendem na prevenção de congestionamento e o gerenciamento do tráfego nas portas dos dispositivos. Há uma diversidade de algoritmos de enfileiramento, no entanto, foram abordados os seguintes [14]:

- *First in First Out* (FIFO);
- *Priority Queuing* (PQ);
- *Custom Queuing* (CQ);
- *Weighted Fair Queuing* (WFQ);

4.5.1 FILAS FIFO

É o método mais simples de enfileiramento e também o mais utilizado em dispositivos, pode ser visto na Figura 4.5.1.1. Esta política não utiliza algoritmos de classificação de pacotes, assim os pacotes se encontram em uma única fila (único *buffer*). Quando vários pacotes chegam, a fila é organizada, mas sempre o primeiro a chegar será o primeiro a sair. O FIFO utiliza o mecanismo de *tail drop* para gerenciar filas congestionadas, o qual realiza o descarte dos pacotes recém chegados na fila [14 e 23].

Figura 4.5.1.1 – FIFO.



Fonte: adaptado de [14].

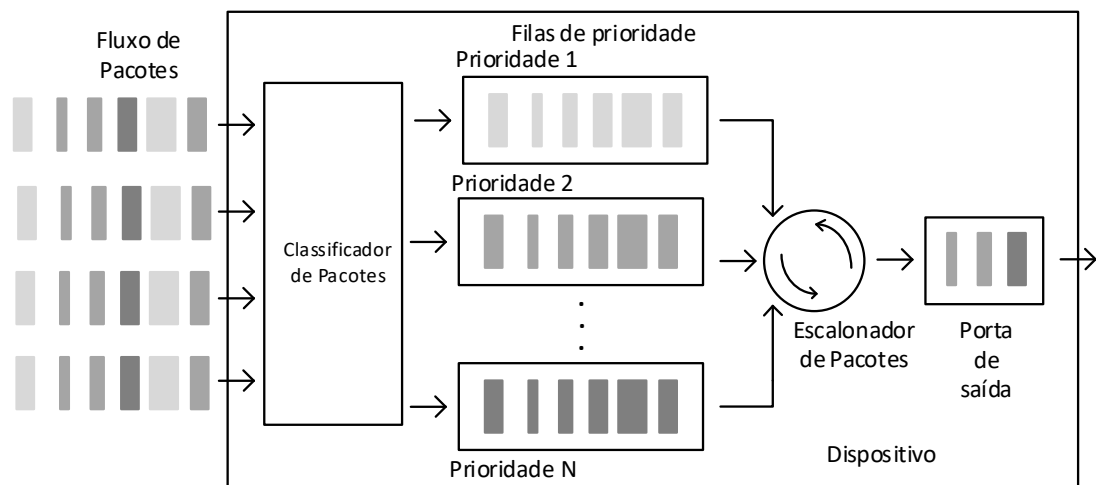
A simplicidade é a maior vantagem do FIFO, por não realizar classificação e seu mecanismos de *scheduling*, ou escalonamento ser o mais simples, o FIFO é uma política bastante ágil. Entretanto possui desvantagens, como não há tratamento de prioridades, a disponibilidade de recursos (largura de banda) é determinada a ordem de chegada dos pacotes [14 e 23].

Atualmente, devido à crescente demanda por serviços prioritários, algoritmos com este tipo de tratamento se tornam menos recorrentes. Visto que cada vez mais dados com requisitos de prioridade trafegam pelas redes [14].

4.5.2 FILAS PQ

O *priority queing* basicamente utiliza N filas FIFO que trabalham em paralelo, como mostra a Figura 4.5.2.1. A política PQ cria filas distintas para cada tráfego de acordo com o nível de prioridade, sendo 4 níveis padrões de prioridades das filas. As prioridades variam de baixa até alta, onde tráfegos com prioridade alta têm acesso irrestrito em relação aos de baixa. Assim como o FIFO, o PQ utiliza o mecanismo de *tail-drop* em cada uma de suas filas para gerenciar o congestionamento [14 e 23].

Figura 4.5.2.1 – PQ.



Fonte: adaptado de [14].

O *priority queuing* classifica os pacotes IP utilizando os seguintes mecanismos:

- Usando a interface de entrada;
- Listas de acesso *standard* ou *extended*, onde uma lista estendida pode aceitar os seguintes parâmetros:
 - Endereço IP de origem;
 - Endereço IP de destino;
 - Porta ou conjunto de portas de origem ou destino TCP ou UDP;
 - Precedência IP (3 bits de mais alta ordem do campo ToS);
 - DSCP (6 bits de mais alta ordem do campo ToS);
 - Valores ToS;
 - Fragmentos;
 - *Flags* TCP.
- Portas de origem ou destino TCP ou UDP;
- Fragmentos;
- Baseado no tamanho dos pacotes.

O mecanismo de *scheduling* do PQ pode ser classificado como prioridade estrita, onde enquanto a fila de alta prioridade tiver pacotes, nenhuma outra fila será atendida. Quando as filas de alta prioridade estiverem vazias, o dispositivo ou roteador começa a servir as de menor prioridade [14 e 23].

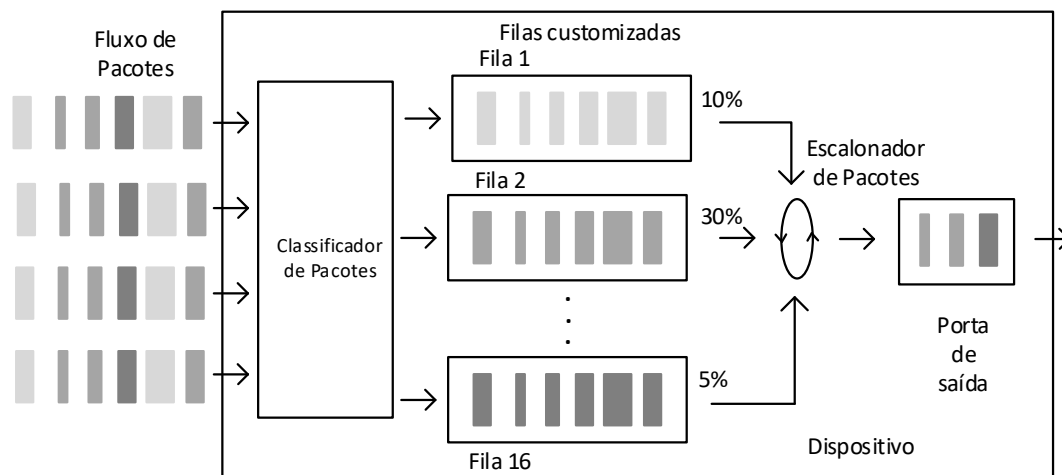
Devido a seu escalonador o PQ sofre dos problemas de *starvation*, *delay*, *jitter* e *unfair*. Mas dentre estes, o chamado *starvation*, ou “passando fome” é o mais prejudicial, este acontece de forma mais evidente nos tráfegos de baixa prioridade. Onde os mesmos podem ficar sem receber recursos da rede, principalmente se o tráfego de alta prioridade estiver com congestionamento. Refletindo em *delays* e *jitter* nas aplicações de baixa prioridade [14 e 23].

A maneira mais simples de contornar isto é criar outra fila para o tráfego que sofre de *starvation*, os quais seriam realocados para esta fila caso não seja possível aumentar o tamanho dos *buffers*. Outra maneira, é fazer com que os pacotes de alta prioridade sejam escalonados primeiro que os de baixa prioridade, somente se o tráfego escalonado de alta prioridade ficar abaixo de um limiar especificado [14 e 23].

4.5.3 FILAS CUSTOM QUEUING

O CQ é usado quando necessita garantir largura de banda para diferentes tráfegos. Este trabalha com 16 filas FIFO que utilizam métodos de classificação idênticos ao PQ. Em cada fila, um percentual da banda é alocado para aplicações específicas, quanto maior a porcentagem, maior a prioridade da aplicação. A fila de número 0 é usada para pacotes do sistema (protocolos de roteamento, dentre outras), já a fila número 1 é a de mais baixa prioridade, aumentando conforme o número da fila aumenta. Cada uma de suas filas opera com *tail-drop* para gerenciar o congestionamento [14 e 23].

Figura 4.5.3.1 – CQ.



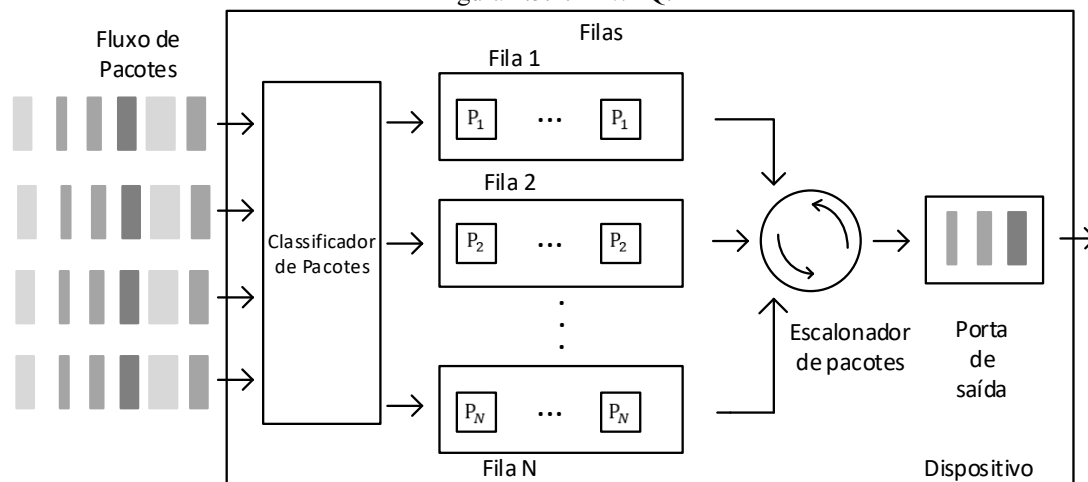
Fonte: adaptado de [14].

O mecanismo de *scheduling* usado nas filas é o *round-robin* (exceto a fila número 0), o qual possibilita cada fila encaminhar um certo número de bytes (limiar) em um *round*, repetindo o processo de forma cíclica. Caso o *scheduling* receba um pacote que ultrapasse o número de bytes estabelecidos, o dispositivo ou roteador é autorizado de enviar um pacote inteiro, mesmo que custe mais banda. Este efeito é a maior desvantagem do CQ, o qual não permite a alocação de banda de forma precisa, resultando em *delays* e *jitter*. [23].

4.5.4 FILAS WFQ

Na Figura 4.5.1.1 é ilustrado o mecanismo WFQ. Este algoritmo garante que todo o tráfego seja tratado de forma equivalente, utilizando filas dedicadas de acordo com o peso. Por exemplo: o tráfego de maior prioridade tem maior peso, ficando no início da fila, enquanto ao mesmo tempo, compartilha o restante da vazão com outros fluxos menores prioridades. O método de classificação do WFQ pode ser feito utilizando o método de classificação do PQ [14 e 23].

Figura 4.5.4.1 - WFQ.



Fonte: Adaptado de [14].

O WFQ foi introduzido como uma possível solução para os seguintes problemas:

- Minimizar ao máximo o fenómeno de *starvation*. No caso PQ e CQ as filas de mais baixa prioridade sofrem mais;
- Minimizar os esporádicos *delays* do CQ, devido a seu escalonador.

O mecanismo de *scheduler* do WFQ é uma espécie de simulação de um sistema *Time Division Multiplexing* (TDM), onde cada pacote é marcado com um *finish time* calculado, este cálculo leva em conta dentre outros fatores o peso, precedência IP. Por fim, o *scheduler* seleciona sempre o pacote com menor *finish time*, minimizando o *delay* do *scheduling* [14 e 23].

Outro aspecto que difere das demais políticas é o mecanismo de congestionamento, o qual não utiliza o um simples mecanismo de *tail-drop*, o WFQ utiliza um *tail-drop* aprimorado. Existem dois modos de descarte para o WFQ: *hold-queue* (HQP) limita o número máximo de pacotes podem estar em um sistema WFQ e o *congestive discard threshold* (CDT) é o limiar usado para começar o descarte pacotes de fluxos mais agressivos, mesmo se se o HPQ não for alcançado. Baseado nisto, o WFQ sempre descartará os pacotes de fluxos mais agressivos, independente da marcação dos pacotes. Desta forma, elimina ao máximo o fenómeno de *starvation*, além de reduzir *delays* e *jitter* [14 e 23].

4.6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo foram abordadas as principais características da arquitetura QoS, e as justificadas necessidades de prover qualidade de serviço para as MANETs. Em seguida, foram tratados os mecanismos das filas, os quais permitem o tratamento (ou não, no caso do FIFO) de prioridades nos tráfegos dos dispositivos MANETs.

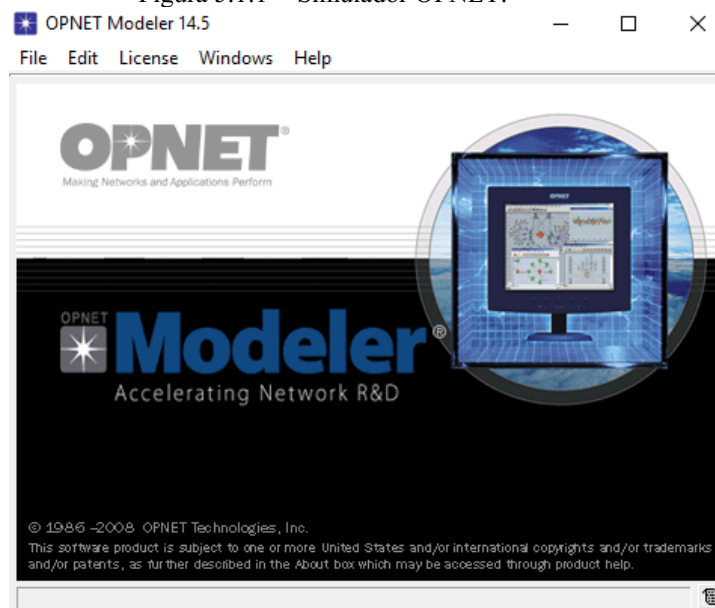
CAPÍTULO 5

MATERIAIS E MÉTODOS

5.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo será abordado um pouco sobre o software que será utilizado para simulação, além dos métodos utilizados para análises. O software em questão é o *OPtimized Network Engineering Tools* (OPNET) Riverbed™ versão 14.5. Este é um software simulador de redes, capaz de simular diferentes ambientes com suporte a vários protocolos, topologias, modos de operação de diferentes cenários [21, 22].

Figura 5.1.1 - Simulador OPNET.



Fonte: *software* OPNET.

5.2 DESCRIÇÃO DAS APLICAÇÕES

As presentes simulações foram realizadas no software OPNET, estas visam o estudo de parâmetros QoS em MANETs, verificando a resposta de diferentes cenários às políticas de escalonamento distintas. As políticas de escalonamento utilizadas foram: FIFO, PQ, WFQ e CQ, descritas no Capítulo 4, Seção 4.5.

Em todos os cenários, três aplicações estão presentes, estas são: comunicação de voz sobre IP (VoIP), vídeo conferência e transferência de arquivos (FTP). Conforme a Tabela 2.4.3.1.1, a aplicação VoIP é a de maior ordem de prioridade diante das demais, em seguida, a aplicação de vídeo conferência com preferência intermediária e transferência de arquivos com a menor prioridade.

Os atributos das aplicações descritas estão dispostos da seguinte forma no OPNET [24 e 25]:

Tabela 5.2.1 – Especificações da aplicação VoIP.

Attribute	Value	Definition	Function
Silence Length (sec)	Default	Incoming Silence Length (sec)	Exp(0.65)
		Outgoing Silence Length (sec)	Exp(0.65)
Talk Spurt Length (sec)	Default	Incoming Talk Spurt Length (sec)	Exp(0.352)
		Outgoing Talk Spurt Length (sec)	Exp(0.352)
Symbolic Destination Name	Voice Destination		
Encoder Scheme	G.711		
Voice Frames per Packet	1		
Type of Service	Interactive Voice (6)		
RSVP Parameters	None		
Traffic Mix (%)	All Discrete		
Signaling	SIP		
Compression Delay (sec)	0.02		
Decompression Delay (sec)	0.02		
Conversation Environment	Default	Room	

Fonte: Adaptado de [24 e 25].

Observe que para a aplicação VoIP foi atribuído a prioridade definida como *Interactive Voice* (6) no campo *Type of Service* da Figura 5.2.1. A qual é a mais alta entre as aplicações.

Tabela 5.2.2 – Especificações da aplicação de vídeo conferência.

Attribute	Value	Definition	Function
Frame Interarrival Time Info	30 frames/sec		
Frame Syze Information (bytes)	(...)	Incoming Stream Frame Size (bytes)	Constant (2500)
		Outgoing Stream Frame Size (bytes)	Constant (2500)
Symbolic Destination Name	Video Destination		
Type of Service	Streaming Multimidia (4)		
RSVP Parameters	None		
Traffic Mix (%)	All Discrete		

Fonte: Adaptado de [24 e 25].

Já a aplicação de vídeo conferência foi atribuído prioridade intermediária entre as aplicação, com o valor *Streaming Multimidia* (4) no campo *Type of Service* da Figura 5.2.2.

Tabela 5.2.3 – Especificações da aplicação FTP.

Attribute	Value
Command Mix (Get/Total)	50%
Inter-Request Time (sec)	Exponential (3600)
File Size (bytes)	Constant (50000)
Symbolic Server Name	FTP Server
Type of Service	Standard (2)
RSVP Parameters	None
Back-End Custom Application	Not Used

Fonte: Adaptado de [24 e 25].

E para a aplicação de transferência de dados, ou FTP, como a mais baixa prioridade entre as aplicações. Atribuído o ToS *Standard* (2) no campo *Type of Service* da Figura 5.2.3.

5.3 DESCRIÇÃO DOS CENÁRIOS

Em todos os cenários simulados, o protocolo reativo AODV foi utilizado como protocolo de roteamento. Este foi escolhido pois permite operar com ampla faixa de mobilidade. Além disto, como é um protocolo do tipo reativo, reduz a disseminação do tráfego de controle (dados dos protocolos) [RFC 3561]. Os atributos do AODV nas simulações estão conforme as especificações padrões da RFC 3561, vistos abaixo:

Tabela 5.3.1 – Atributos AODV.

Atributo	Valor
Route Request Retries	2
Route Request Rate Limit (pkts/s)	10
Active Route Timeout (ms)	3
Hello Interval (ms)	1
Net Diameter (máximo de saltos)	35
Node Transversal Time (ms)	40
Route Error Rate Limit (pkts/s)	10
Timeout Buffer	2

Fonte: Adaptado de [RFC 3561].

Já os cenários utilizaram diferentes políticas de escalonamento, e entre elas foi variado o número de dispositivos em três vezes, afim de avaliar a influência e os efeitos causados deste aumento. Além disto, como característica básica das MANETs, em alguns cenários os dispositivos encontram-se em movimento. A Tabela 5.3.2 descreve os cenários, vista logo abaixo:

Tabela 5.3.2 – Descrição dos cenários.

Cenário	Escalonamento	Dispositivos	Velocidade (m/s)	Pausa (s)
1	FIFO	10	0	0
2	FIFO	10	5 a 10	5
3	FIFO	30	0	0
4	FIFO	30	5 a 10	5
5	PQ	10	0	0
6	PQ	10	5 a 10	5
7	PQ	30	0	0
8	PQ	30	5 a 10	5
9	WFQ	10	0	0
10	WFQ	10	5 a 10	5
11	WFQ	30	0	0
12	WFQ	30	5 a 10	5
13	CQ	10	0	0
14	CQ	10	5 a 10	5
15	CQ	30	0	0
16	CQ	30	5 a 10	5

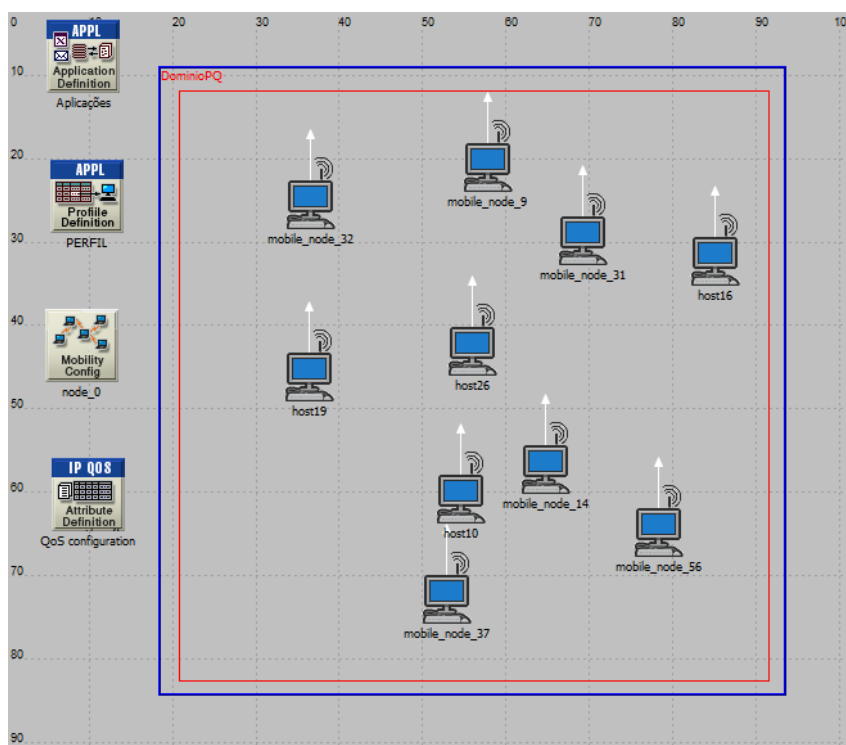
Fonte: Autoria própria.

O *software* OPNET permite ao usuário observar graficamente todas as ferramentas de trabalho, no caso dos cenários descritos foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Um modelo para configurar as aplicações, o qual permite criar várias aplicações e modificar diversos parâmetros, conforme visto na seção 5.2;
- Um modelo para criação dos perfis das aplicações, possibilitando alterar o início, a duração, controlar aplicações simultâneas, etc;
- E para a inserção de qualidade de serviço utilizando as políticas de escalonamento, foi utilizado um modelo para configuração de QoS;
- Os cenários com mobilidade, foi necessário utilizar um modelo para configurar a velocidade, o tempo de pausa e o domínio de mobilidade.

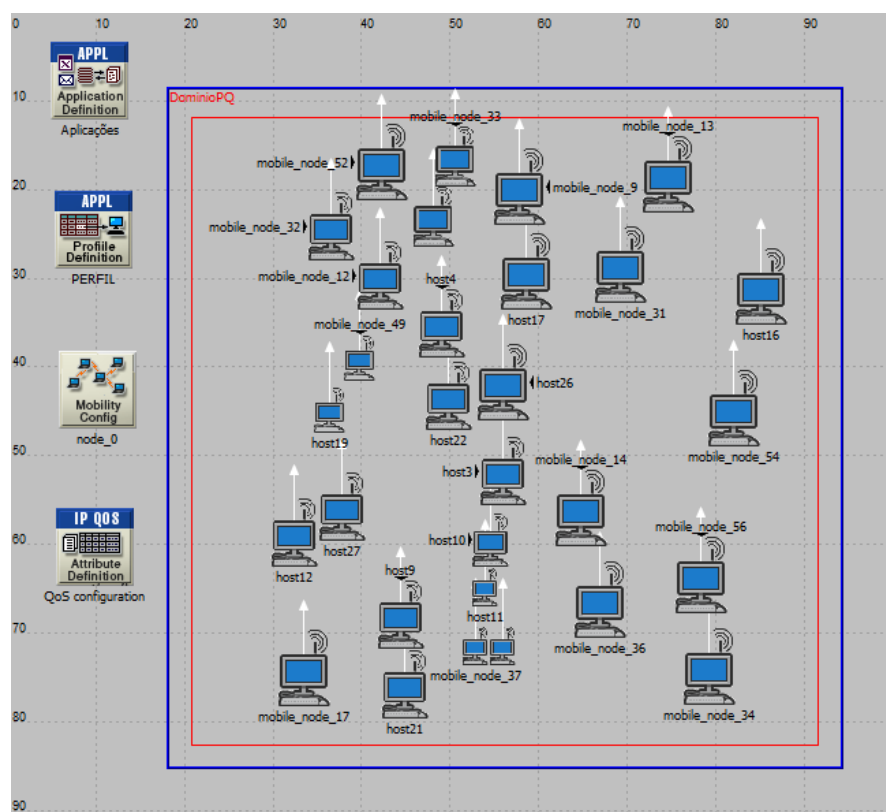
Os cenários descritos pela Tabela 5.3.2, juntamente com os modelos descritos, podem ser observados nas figuras abaixo.

Figura 5.3.1 – Cenários de 10 dispositivos com mobilidade.



Fonte: *software* OPNET.

Figura 5.3.2 – Cenários de 30 dispositivos com mobilidade.



Fonte: *software* OPNET.

Os cenários pares diferem dos ímpares apenas na ausência de mobilidade. E em todos eles o tempo de simulação foi de 500 segundos, conforme artigos base [24 e 25].

5.4 DESCRIÇÃO DO *HARDWARE*

Para as presentes simulações o *hardware* utilizado para suportar o OPNET possui as seguintes especificações:

- Processador: Inter Core i7-5500U de 2.40 GHz;
- Memória RAM: 16 GB;
- Placa gráfica: GeForce 830M de 2 GB;
- Sistema operacional: Windows 10 Home 64 bits.

As simulações foram realizadas 5 vezes para cada cenário, e tiveram significantes divergências entre os resultados.

5.5 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS

O método de coleta de dados utilizado foram os gráficos gerados pelo *software* OPNET. Por meio da ferramenta *result browser*, objetos gráficos foram gerados e estes permitiram a visualização dos diferentes cenários. Alguns gráficos são mais interessantes que outros para as discussões, dependendo da análise que será feita. Desta forma, foram determinadas as abordagens para cada análise com base em artigos [24, 25 e ITU-R G.114] a partir disto, algumas métricas foram selecionadas para cada abordagem, ficando da seguinte forma:

- A análise dos efeitos do aumento no número de dispositivos e da mobilidade visa, entre os cenários de mesma política de escalonamento, verificar os efeitos do incremento do número de dispositivos e a alta mobilidade. Observando a rede *wireless LAN* como um todo, considerando as seguintes métricas:
 1. *Wireless LAN.Delay* ou atraso da rede de área local sem fio;
 2. *Wireless LAN.Load* ou carga da rede de área local sem fio;
 3. *Wireless LAN.Throughput* ou taxa de transferência de dados da rede de área local sem fio.
- A análise do aumento no número de dispositivos e da mobilidade, observando a aplicação VoIP visa, entre as políticas de escalonamento. As métricas observadas foram o descarte de dados da rede *wireless LAN*, além de outras específicas da aplicação VoIP, vistas abaixo:
 1. *Wireless LAN.Data dropped* ou pacotes descartados da rede de área local sem fio;
 2. *Voice.Packet end-to-end delay* ou *delay* fim a fim de pacotes da aplicação VoIP;
 3. *Voice.Mean Score Opinion* (MOS) ou Pontuação média da opinião da aplicação VoIP.
- E a análise dos efeitos de prover QoS visam, entre as aplicações, investigar os efeitos de fornecer qualidade de serviço por meio do tráfego recebido. As métricas observadas foram:
 1. *FTP.Traffic Received* ou tráfego recebido da aplicação FTP;
 2. *Video Conferencing.Traffic Received* ou tráfego recebido da aplicação de vídeo conferência;
 3. *Voice.Traffic Received* ou tráfego recebido da aplicação VoIP.

CAPÍTULO 6

RESULTADOS

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo as métricas utilizadas são descritas e a partir delas, análises dos resultados foram feitas. Estas dependem da abordagem em questão, conforme descrito no Capítulo 5, seção 5.5.

6.2 EFEITOS DA VARIAÇÃO DE DISPOSITIVOS E MOBILIDADE NA REDE

Na presente seção é simulado a primeira parte das análises descritas no Capítulo 5, seção 5.5. Após as simulações, o *software* OPNET gerou objetos gráficos pertinentes a cada abordagem, vistos abaixo. E em seguida, serão apresentadas discussões a respeito dos gráficos gerados.

6.2.1 DELAY

A métrica *delay* representa o atraso de todos os pacotes recebidos dos nós WLAN da rede. Este é uma composição do atraso de acesso ao meio, a recepção de todos os fragmentos individualmente e do atraso das filas [OPNET]. Essencialmente, o *delay* pode ser influenciado por 6 tipos de atrasos, descritos abaixo:

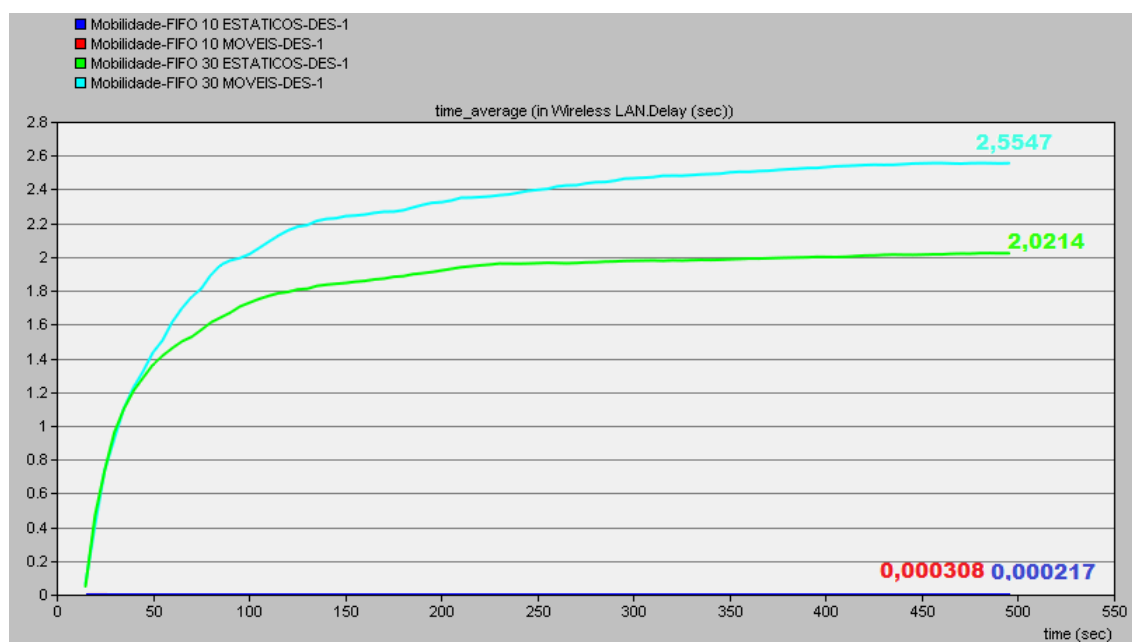
- **Frame delay, ou atraso de pacotes:** presente no processo de quantização, onde é calculado pelo número de amostras pela frequência de amostragem. Para PCM padrão ITU-T G-711 é recomendado 1 amostra e frequência de amostragem 8000 amostras/segundo, resultando num *frame delay* de 0.125 ms [14];
- **Packetization delay, ou atraso de empacotamento:** inclui o atraso devido a formatação dos bits dentro dos pacotes, por exemplo na colocação de cabeçalhos. Para os pacotes que utilizam mecanismos de priorização (ToS), há uma necessidade de marcá-los,

permitindo que o *packet scheduler* selecione cada qual para sua fila correta. Esta marcação implica em um maior *packetization delay* em comparação ao FIFO o qual não usa estas marcações [14];

- ***Interleaving delay, ou atraso de intercalação:*** mecanismo de controle de erros, o qual auxilia em garantir que as informações cheguem intactas ao destinatário [14].
- ***Jitter buffer delay:*** afeta serviços em tempo real, tais como VoIP e vídeo conferência [14];
- ***Packet queuing delay, ou atraso das filas dos pacotes:*** depende do funcionamento da política de escalonamento [14];
- ***O propagation delay, ou atraso de propagação:*** é o tempo gasto para o sinal viajar uma distância, calculado pela distância da transmissão (km) dividido pela velocidade da luz no vácuo ($3 \times 10^8 \text{ m/s}$) [14].

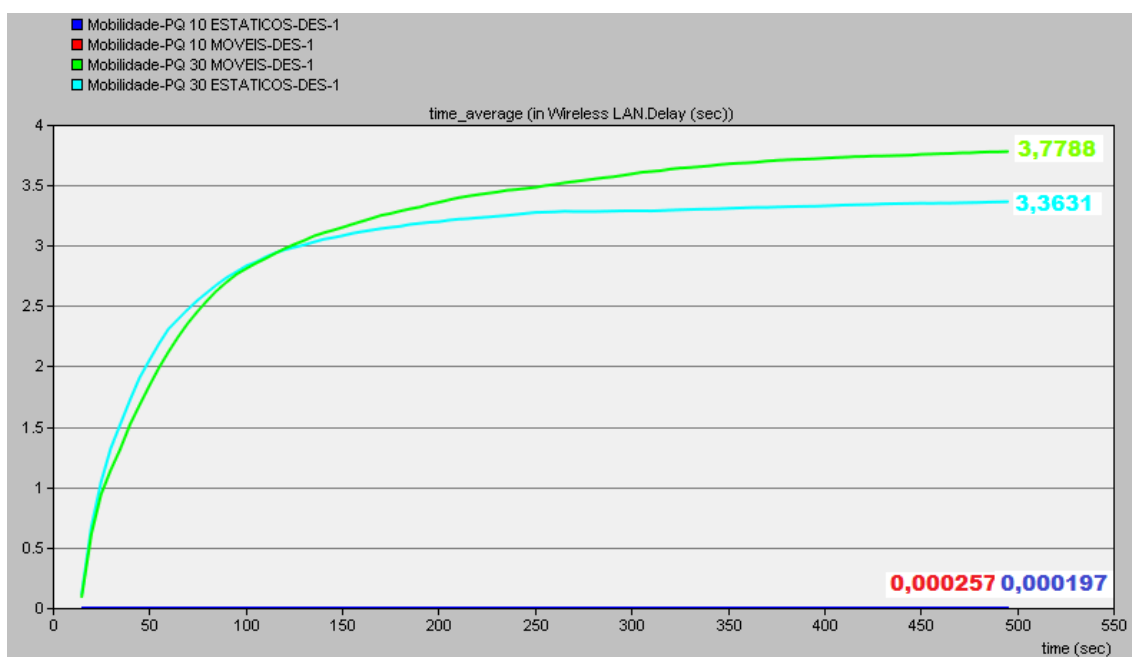
Alguns dos atrasos anteriormente citados como o atraso de pacotes e o atraso de propagação, praticamente não irão se alterar entre os cenários de 10 e 30 dispositivos sem mobilidade. Pois, tanto as características físicas (distância da transmissão, velocidade), o esquema de codificação (G-711) e modulação (PCM), permanecem os mesmos em todos estes cenários. Já para os cenários com mobilidade, o atraso de propagação irá alterar minimamente, pois a distância de transmissão se altera com o tempo. Logo, os demais atrasos não citados, influenciaram nos atrasos calculados e verificados graficamente no *software* OPNET. Os objetos gráficos podem ser visualizados a seguir:

Figura 6.2.1.1 – FIFO Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



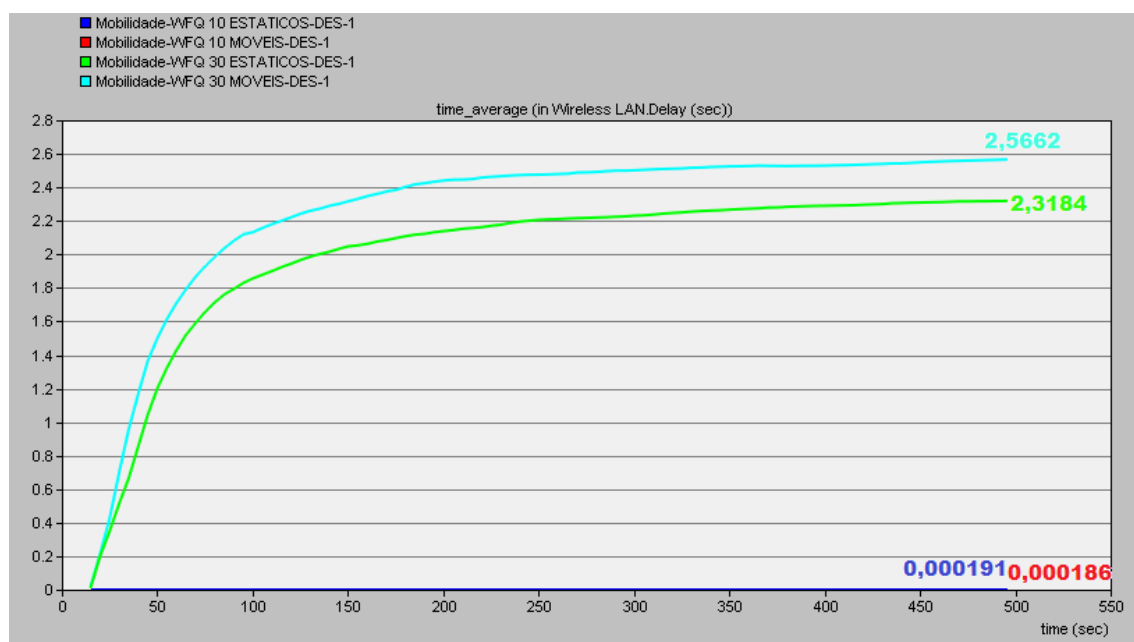
Fonte: software OPNET.

Figura 6.2.1.2 – PQ Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



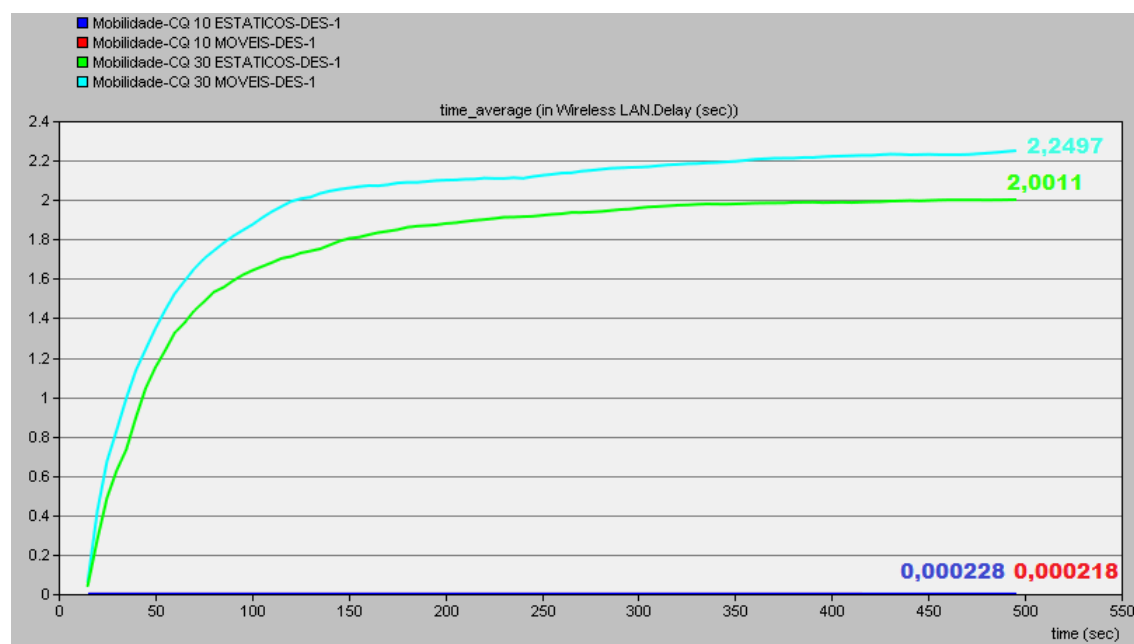
Fonte: software OPNET.

Figura 6.2.1.3 – WFQ Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



Fonte: software OPNET.

Figura 6.2.1.4 – CQ Delay 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



Fonte: software OPNET.

Os resultados apresentados são resumidos na Tabela 6.2.1.1, vista abaixo:

Tabela 6.2.1.1 – Atrasos em função do aumento no número de dispositivos e mobilidade.

		DELAY (segundos)		
		ESTÁTICOS	MÓVEIS	Relação mobilidade
FIFO	10 dispositivos	0,000217	0,000308	142%
	30 dispositivos	2,0214	2,5547	126%
	Relação dispositivos	9.315,21	8.294,48	-
PQ	10 dispositivos	0,000197	0,000257	130%
	30 dispositivos	3,3631	3,7788	112%
	Relação dispositivos	17.071,57	14.699,61	-
WFQ	10 dispositivos	0,000191	0,000186	97%
	30 dispositivos	2,3184	2,5662	111%
	Relação dispositivos	12.138,22	13.796,77	-
CQ	10 dispositivos	0,000228	0,000218	96%
	30 dispositivos	2,0011	2,2497	112%
	Relação dispositivos	8.776,75	10.319,72	-

Fonte: autoria própria.

Observando as figuras e a Tabela 6.2.1.1 de todas as políticas de escalonamento, é possível verificar que o aumento no número de dispositivos, promove um incremento drástico no atraso. A Relação dispositivos nos cenários estáticos ou móveis variou de 8 mil vezes para o CQ, até 17 mil vezes para o PQ. Isto é explicado devido ao maior número de pacotes trafegando dentro dos algoritmos de enfileiramento, causando aumento de processamento nas filas. No caso do PQ, este aumento se deve ao seu *scheduling*, que enquanto a fila de maior prioridade não for esvaziada ele não passa para a prioridade inferior, logo conclui-se que com 30 dispositivos o algoritmo se torna mais lento, ocasionando grandes atrasos. Quanto ao CQ, o *scheduling* permite encaminhar um certo número de bytes de forma ciclicamente menos privilegiada. Dentre as políticas com tratamento de prioridades foi a que obteve os menores relações de atrasos [23].

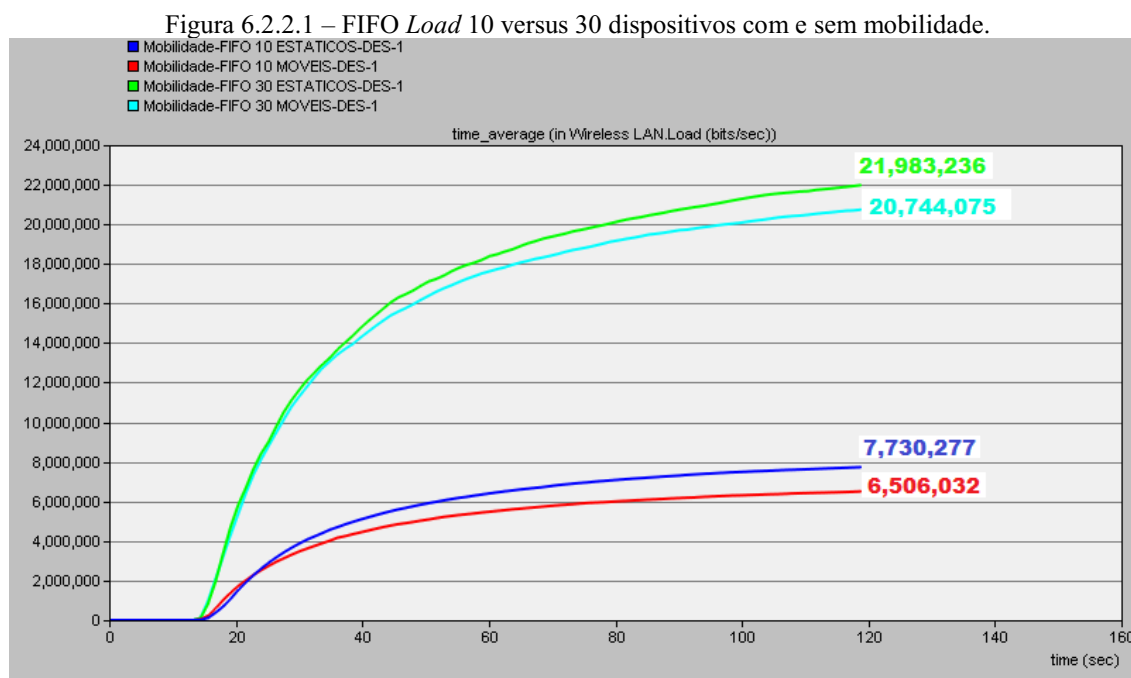
Analisando a relação de mobilidade na Tabela 6.2.1.1, é possível verificar nas políticas PQ, WFQ e CQ, que a razão nos cenários estáticos e móveis com 30 dispositivos, experimentaram maiores efeitos no atraso devido a mobilidade, em comparação aos cenários com 10 dispositivos. Para o WFQ de 111% e CQ de 112%. E para o FIFO e o PQ, foi o contrário,

refletindo maiores efeitos nos cenários com 10 dispositivos com 142% para o FIFO e de 130% PQ.

Observando os cenários com 10 dispositivos das políticas WFQ e CQ, verifica-se um decremento no atraso. As topologias móveis podem causar um desconhecimento dos estados atuais entre os dispositivos, necessitando reestabelecer novos caminhos. Desta forma, uma alta mobilidade leva estes cenários a um possível estado onde as informações se tornam cada vez menos precisas.

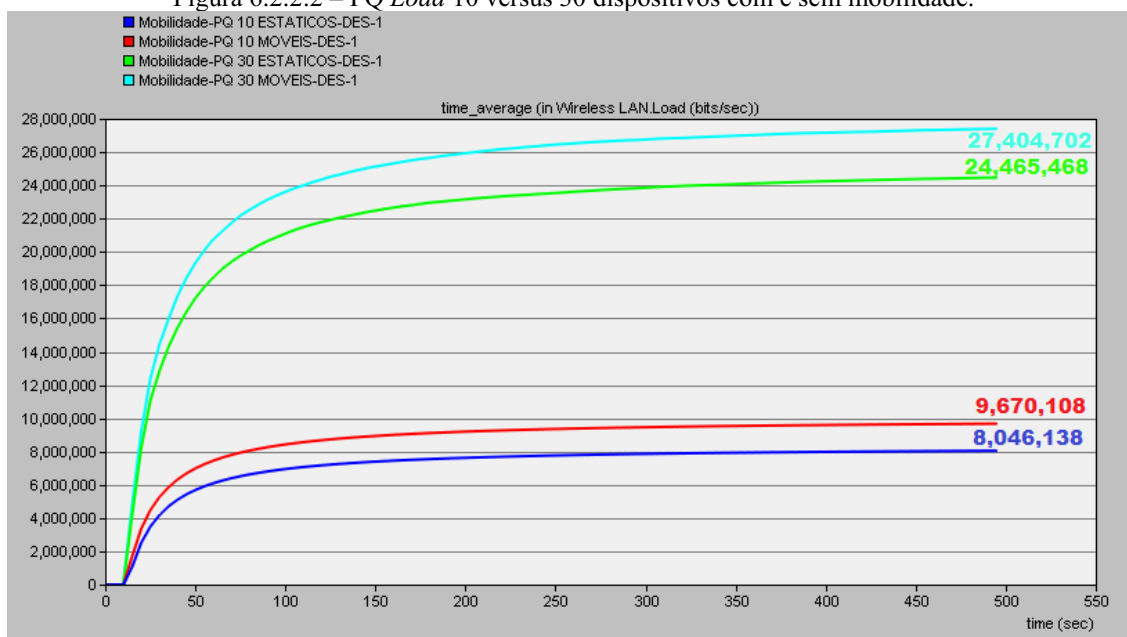
6.2.2 LOAD

O parâmetro *load*, representa a carga total (bits/segundo) que a rede WLAN é submetida em todos os dispositivos [OPNET]. O *software* OPNET gerou os objetos gráficos, os quais podem ser visualizados a seguir:



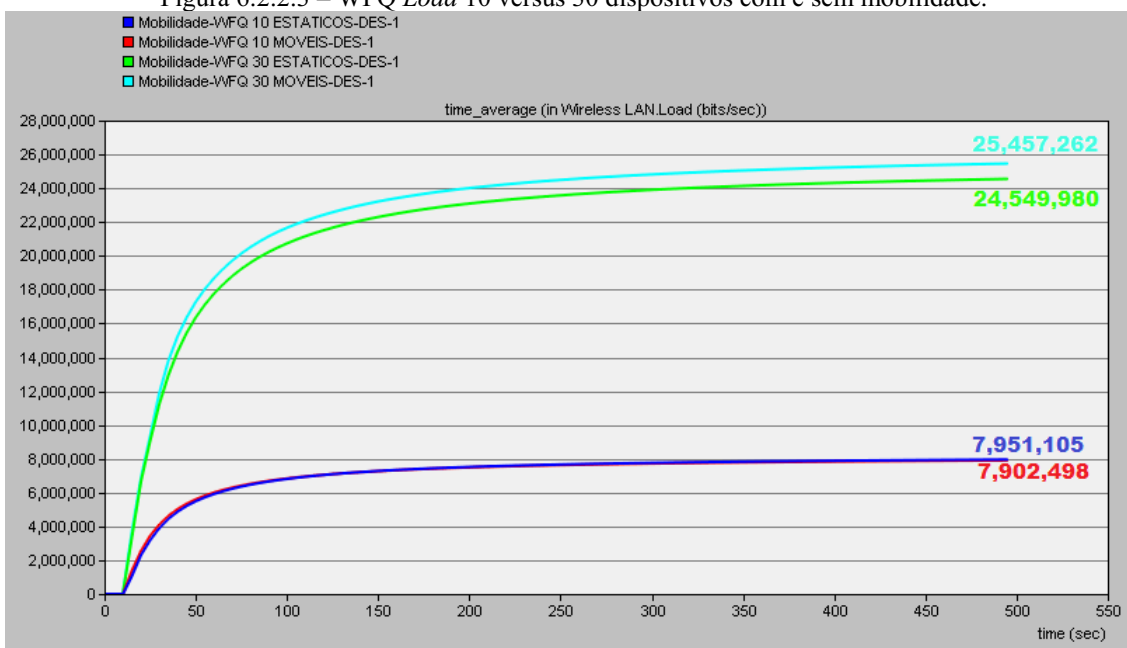
Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.2.2.2 – PQ Load 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



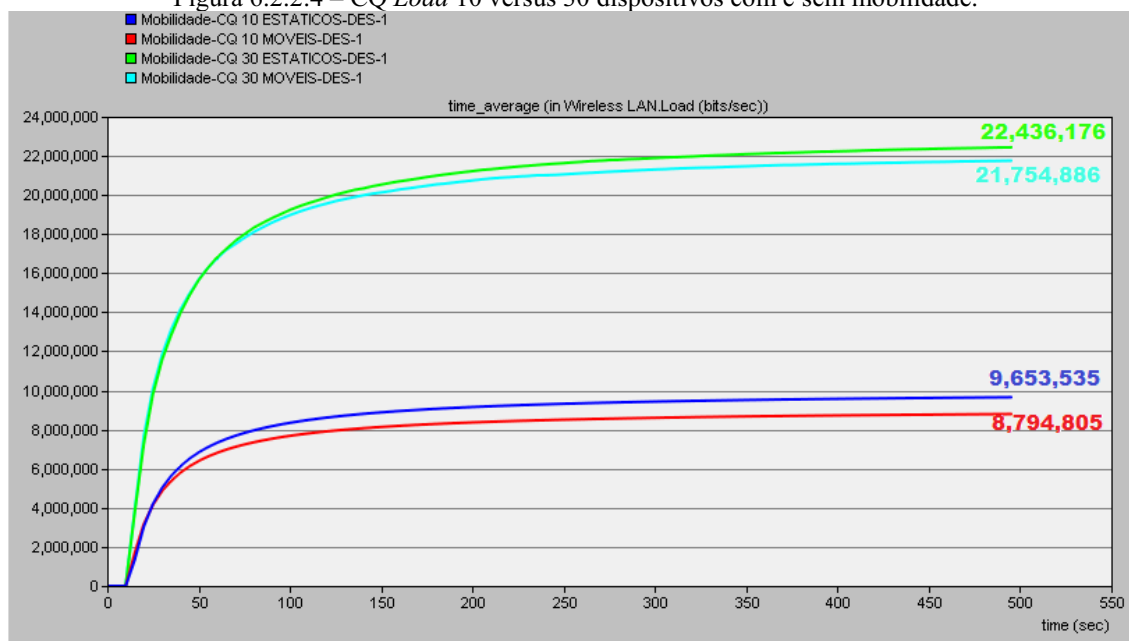
Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.2.2.3 – WFQ Load 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.2.2.4 – CQ Load 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



Fonte: software OPNET.

Os resultados apresentados são resumidos na Tabela 6.2.2.1, vista abaixo:

Tabela 6.2.2.1 – Carga em função do aumento no número de dispositivos e mobilidade.

		LOAD (bits/segundo)		
		ESTÁTICOS	MÓVEIS	Relação mobilidade
FIFO	10 dispositivos	7.730.277	6.506.032	84%
	30 dispositivos	21.983.236	20.744.075	94%
	Relação dispositivos	284%	319%	-
PQ	10 dispositivos	8.046.138	9.670.108	120%
	30 dispositivos	24.465.468	27.404.702	112%
	Relação dispositivos	304%	283%	-
WFQ	10 dispositivos	7.951.105	7.902.498	99%
	30 dispositivos	24.549.980	25.457.262	104%
	Relação dispositivos	309%	322%	-
CQ	10 dispositivos	9.653.535	8.794.805	91%
	30 dispositivos	22.436.176	21.754.886	97%
	Relação dispositivos	232%	247%	-

Fonte: autoria própria.

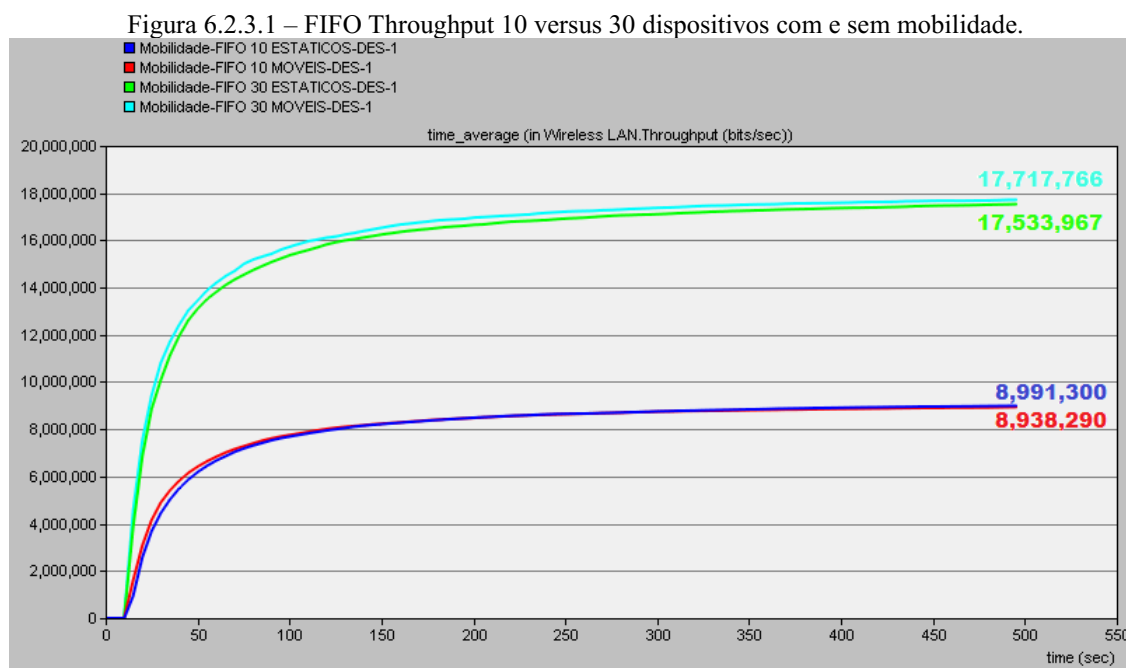
Observando as figuras anteriores, ou a Tabela 6.2.2.1, é possível verificar cargas maiores nas políticas de escalonamento PQ, CQ e WFQ em relação ao FIFO. Devido a

necessidade de classificação e escalonamento nos algoritmos que utilizam tratamento de prioridades.

A relação de mobilidade do PQ e CQ, a mobilidade produziu um incremento de carga nas redes de 30 dispositivos, 104% para CQ e 112% para o PQ. No entanto, nos outros cenários, percebe-se pouco ou mesmo o efeito contrário. O incremento de dispositivos, produziu impactos significativos nos cenários, de 232% para CQ, 284% FIFO, 304% PQ e 309% para o WFQ. Logo, conclui-se que o incremento do número de dispositivos promoveu efeitos mais influentes na carga da rede que a alta mobilidade. Este aumento é justificado pelo triplo de dispositivos num cenário em comparação ao outro (de 10 para 30).

6.2.3 THROUGHPUT

O *throughput* é definido como o número total de bits (bits/segundo) encaminhados das camadas L1 e L2 para camadas mais altas em todos os nós da rede. Assim como as demais métricas, o *throughput* também é sensível a atrasos, retransmissões e qualquer influência temporal [OPNET]. O OPNET gerou os objetos gráficos, os quais podem ser visualizados a seguir:



Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.2.3.2 – PQ Throughput 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.

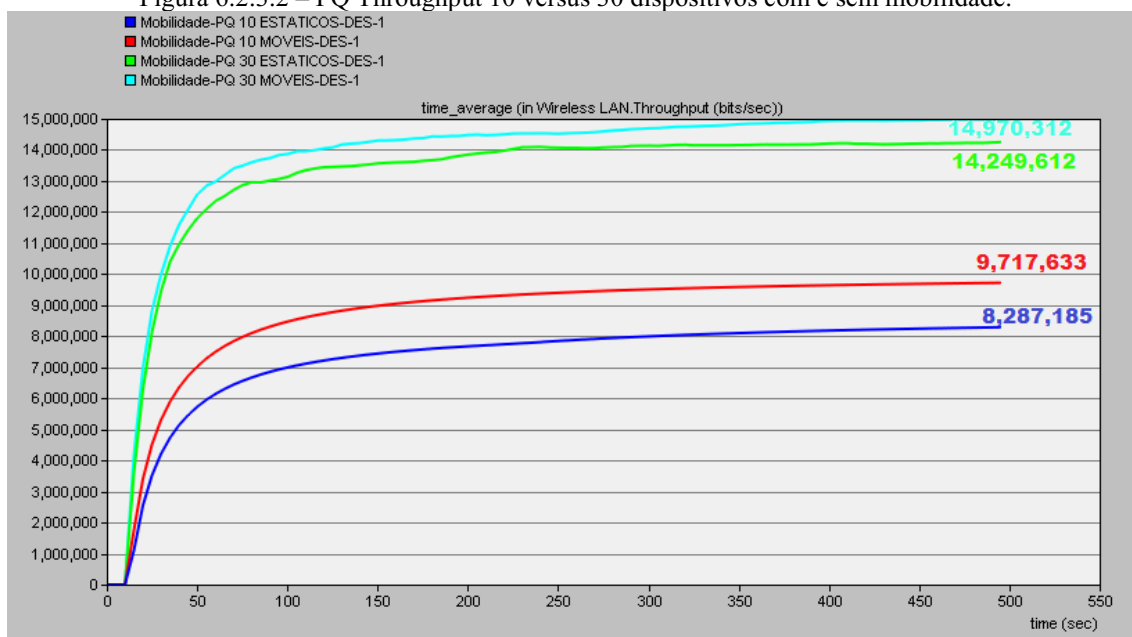
Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.2.3.3 – WFQ Throughput 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.

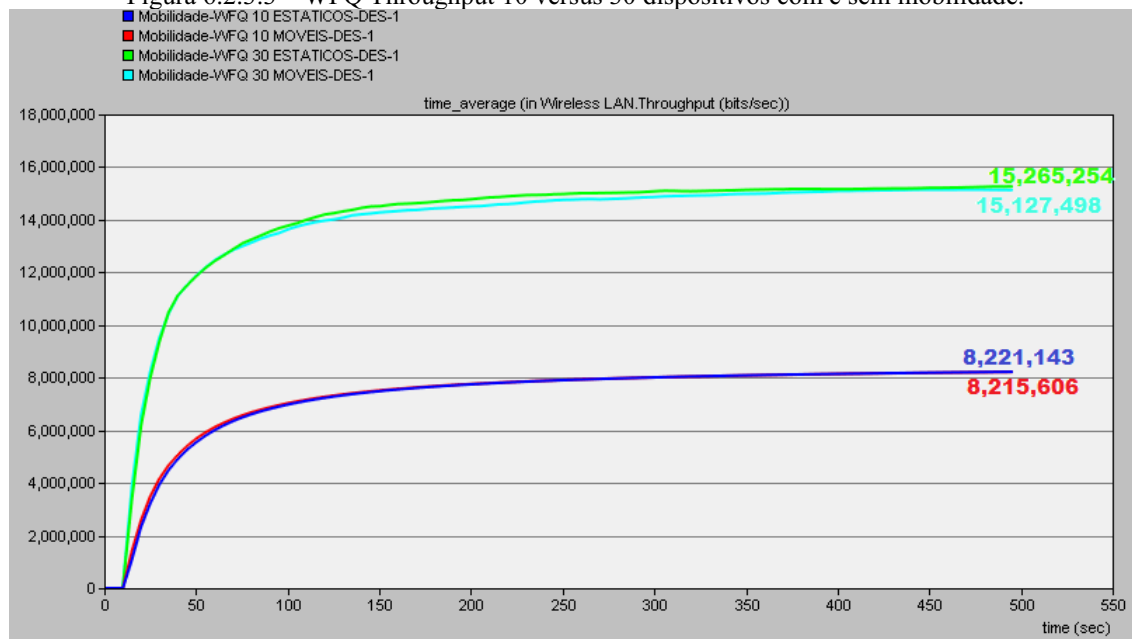
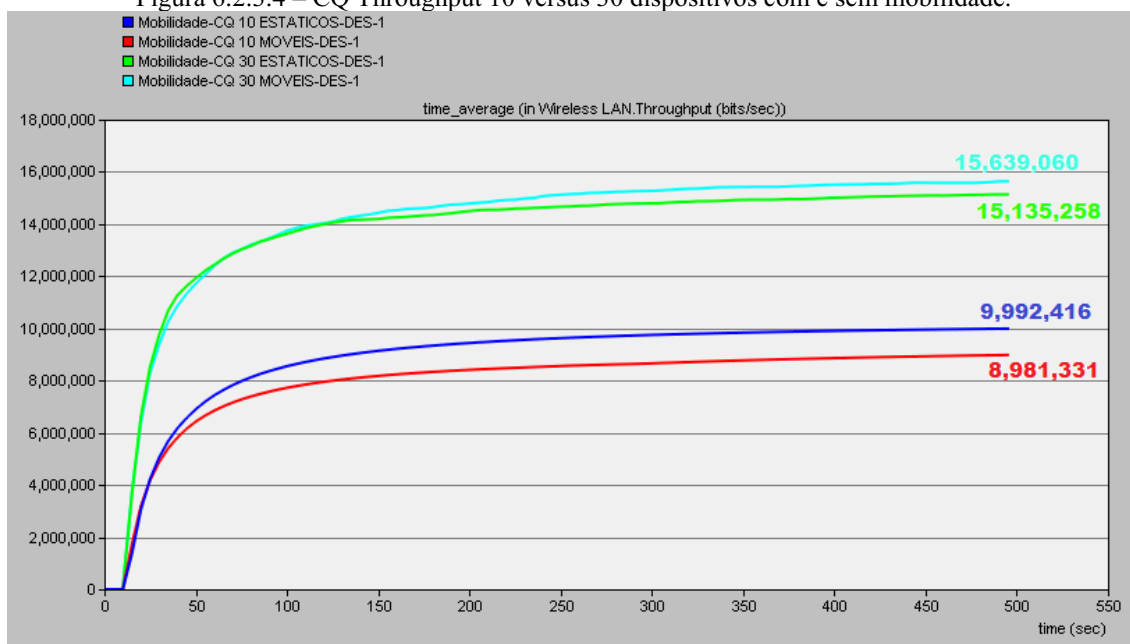
Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.2.3.4 – CQ Throughput 10 versus 30 dispositivos com e sem mobilidade.



Fonte: software OPNET.

Os resultados apresentados são resumidos na Tabela 6.2.3.1, vista abaixo:

Tabela 6.2.3.1 – Taxa de taxa de transferência em função do aumento no número de dispositivos e mobilidade.

		THROUGHPUT (bits/segundo)		
		ESTÁTICOS	MÓVEIS	Relação mobilidade
FIFO	10 dispositivos	8.991.300	8.938.290	99%
	30 dispositivos	17.533.967	17.717.766	101%
	Relação dispositivos	195%	198%	-
PQ	10 dispositivos	8.287.185	9.717.633	117%
	30 dispositivos	14.249.612	14.970.312	105%
	Relação dispositivos	172%	154%	-
WFQ	10 dispositivos	8.221.143	8.215.606	100%
	30 dispositivos	15.265.254	15.127.498	99%
	Relação dispositivos	186%	184%	-
CQ	10 dispositivos	9.992.416	8.981.331	90%
	30 dispositivos	15.135.258	15.639.060	103%
	Relação dispositivos	151%	174%	-

Fonte: autoria própria.

Observando a Tabela 6.2.3.1, o incremento no número de dispositivos promoveu grandes aumentos no *throughput* entre os cenários estáticos ou móveis. Para os estáticos variou de 151% para o CQ até 195% para o FIFO. E nos cenários móveis de 154% para o PQ até 198% para o FIFO.

Comparando os cenários estáticos e móveis de 10 dispositivos, a política PQ foi a que resultou num maior *throughput* de 117%. Para o FIFO e WFQ, pode-se dizer que quase não houve diferença, pois ficaram próximo ou em 1:1. Já para os cenários com 30 dispositivos, O PQ apresentou o maior *throughput* com 105%, seguido do CQ de 103% e do FIFO com 101%. Para o WFQ, novamente, praticamente não houve alteração na sua taxa de transferência.

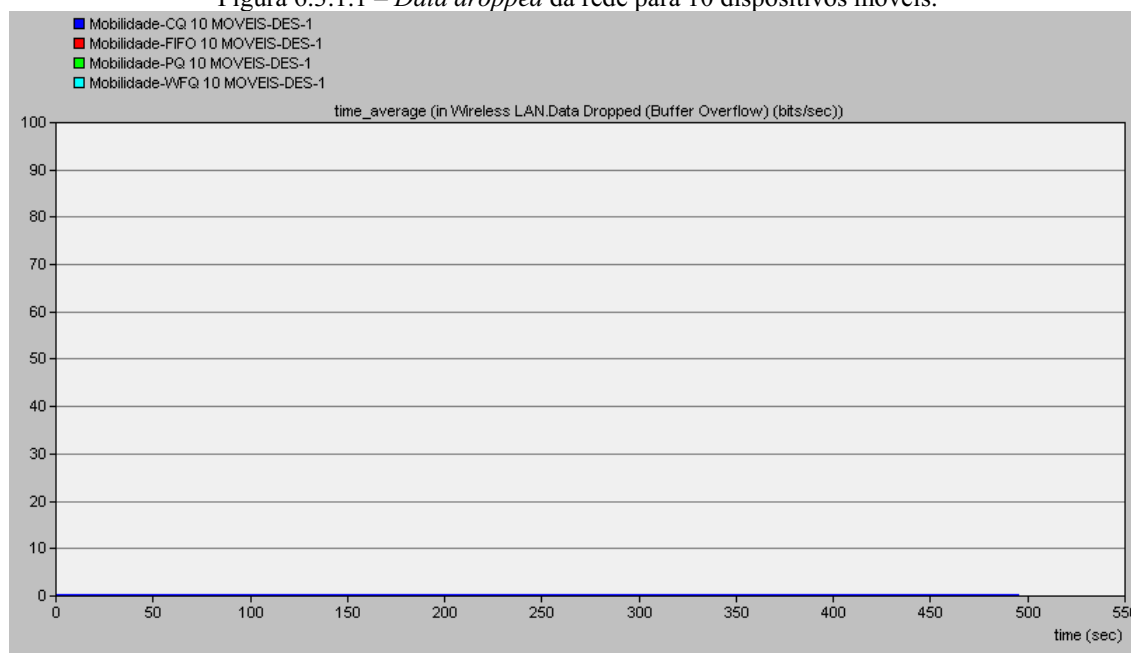
6.3 EFEITOS DA VARIAÇÃO DE DISPOSITIVOS COM MOBILIDADE PARA A APLICAÇÃO VOIP

Nesta seção uma análise da aplicação de voz (VoIP) é feita, afim de verificar a influência que o número de dispositivos e mobilidade causa na mesma.

6.3.1 ANÁLISE DOS CENÁRIOS COM 10 DISPOSITIVOS

Inicialmente será feita uma análise da aplicação VoIP para os cenários com 10 dispositivos, descrita na segunda análise do Capítulo 5, seção 5.5. Os objetos gráficos podem ser visualizados logo abaixo:

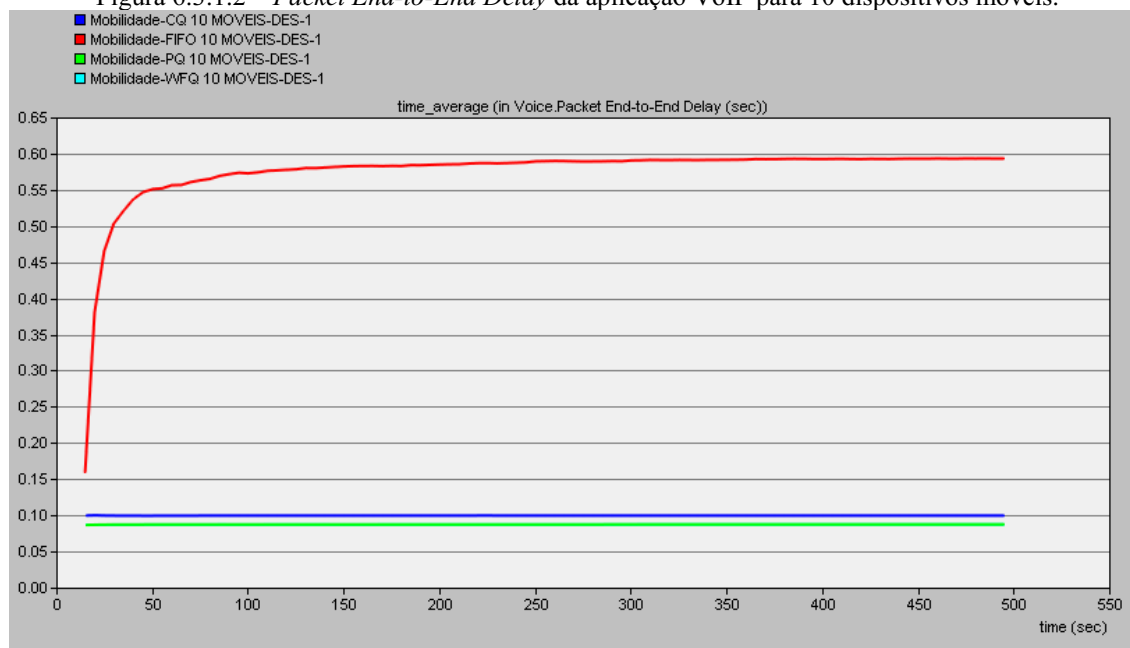
Figura 6.3.1.1 – *Data dropped* da rede para 10 dispositivos móveis.



Fonte: *software* OPNET.

O parâmetro *data dropped* refere a quantidade de pacotes em bits/segundo descartados durante todo o período de simulação. Observando a Figura 6.3.1.1, é possível verificar o perfil de zero descarte entre as políticas de escalonamento nas redes dos cenários com 10 dispositivos móveis. Isto acontece porque estas operam sem sobrecargas. Assim, suas filas são eficientes no gerenciamento do tráfego, pois trabalham com folga nos *buffers* e enfileiramentos e com isto promovem tráfegos sem descartar de pacotes.

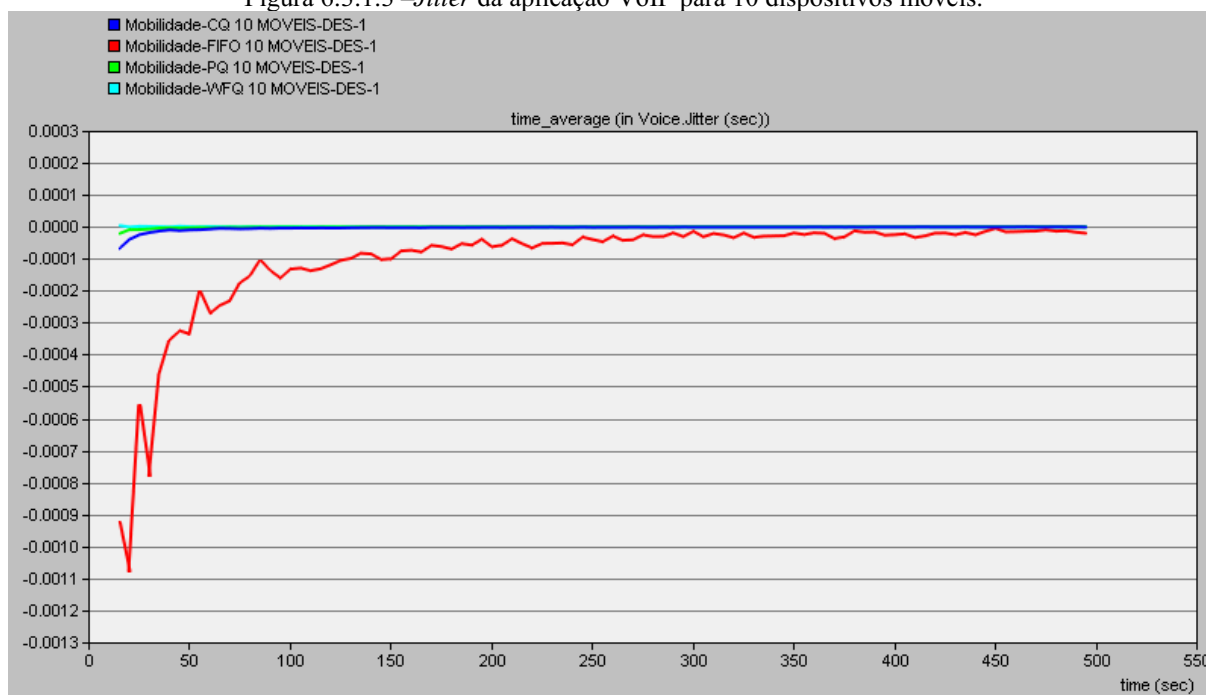
Figura 6.3.1.2 – *Packet End-to-End Delay* da aplicação VoIP para 10 dispositivos móveis.



Fonte: *software* OPNET.

Na política de escalonamento FIFO, os pacotes das aplicações são armazenados numa fila única de acordo com a ordem de chegada, onde o primeiro a entrar será o primeiro a sair, sem tratamento de prioridades. Sendo assim, a aplicação VoIP teria um tratamento oferecido de forma igual as demais aplicações, sem qualidade de serviço. Visando somente despachar o máximo de pacotes em suas filas, ocasionando assim altos atrasos fim a fim na aplicação, o que não ocorre com as demais políticas que realizam tratamentos de prioridades usando o ToS. Este fato pode ser verificado na Figura 6.3.1.2. Os atrasos apresentados pelos algoritmos PQ, WFQ e CQ são praticáveis num cenário real, pois atrasos menores que 150 ms quase não são perceptíveis [23 e ITU-R G.114].

Figura 6.3.1.3 –Jitter da aplicação VoIP para 10 dispositivos móveis.

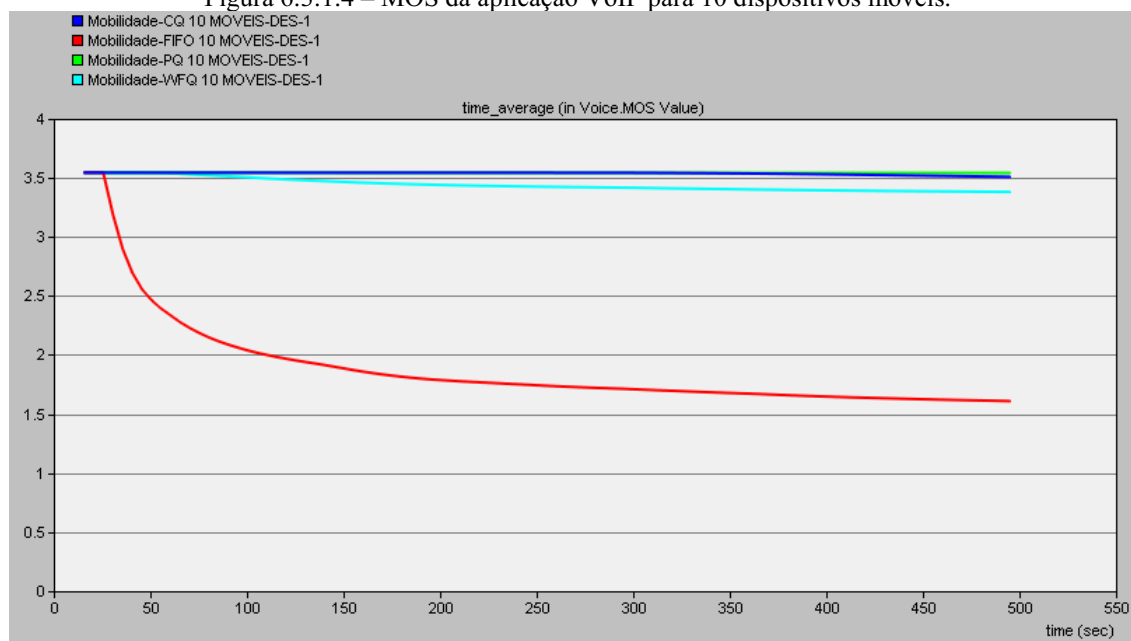


Fonte: *software* OPNET.

O *jitter* afeta serviços em tempo real (VoIP e vídeo), e é definido como uma variação no atraso dos pacotes. No lado do transmissor, os pacotes são enviados em um fluxo contínuo, espaçados a uma distância uniforme. O que pode acontecer, devido a um congestionamento da rede, ou um enfileiramento impróprio, este fluxo uniforme tornar-se irregular ou o atraso entre cada pacote pode variar em vez de permanecer constante [14].

As transmissões podem sofrer atrasos (*jitter* positivo) ou o aceleração (*jitter* negativo). Em outras palavras, se dois pacotes consecutivos saem do transmissor com tempos T_1 e T_2 e são reproduzidos no receptor nos tempos T_3 e T_4 , então: o *jitter* = $(T_4 - T_3) - (T_2 - T_1)$ [OPNET]. Na Figura 6.3.1.3, é possível observar que as políticas com tratamento de prioridade possuem essa diferença igual a zero, o que é ideal. Já o FIFO, a variação foi negativa, implicando em uma variação maior no transmissor ($T_2 - T_1 > T_4 - T_3$).

Figura 6.3.1.4 – MOS da aplicação VoIP para 10 dispositivos móveis.



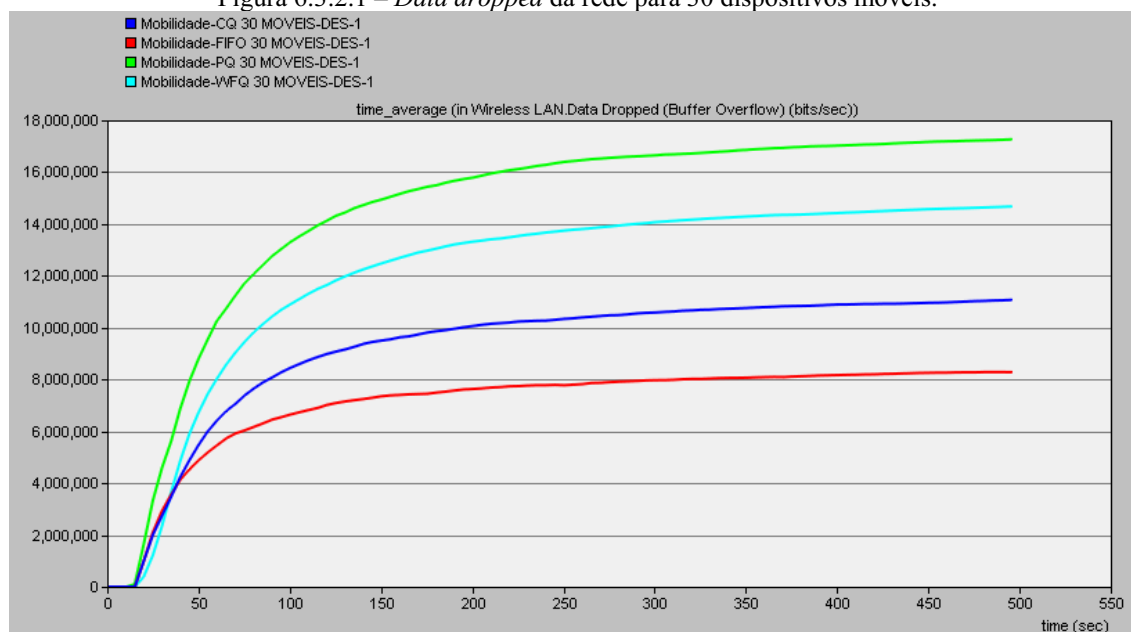
Fonte: *software* OPNET.

O MOS, outro importante parâmetro de análise, mensura a qualidade da voz oferecida, variando de ruim (0) até excelente (5). A partir desta informação, é interessante notar que o MOS para os algoritmos onde funcionam mecanismos de prioridades (PQ, WFQ e CQ) está entre 3,4 a 3,6, já o FIFO demonstra um grande decaimento e estabiliza com MOS de 1,6, verificado na Figura 6.3.1.4. Este parâmetro reforça o comprometimento das políticas com prioridades em relação ao FIFO, mesmo com alta mobilidade [14].

6.3.2 ANÁLISE DOS CENÁRIOS COM 30 DISPOSITIVOS

Nesta seção será feita uma análise da aplicação VoIP para os cenários com 30 dispositivos, descrita no Capítulo 5, seção 5.5. Os objetos gráficos podem ser visualizados logo abaixo:

Figura 6.3.2.1 – Data dropped da rede para 30 dispositivos móveis.

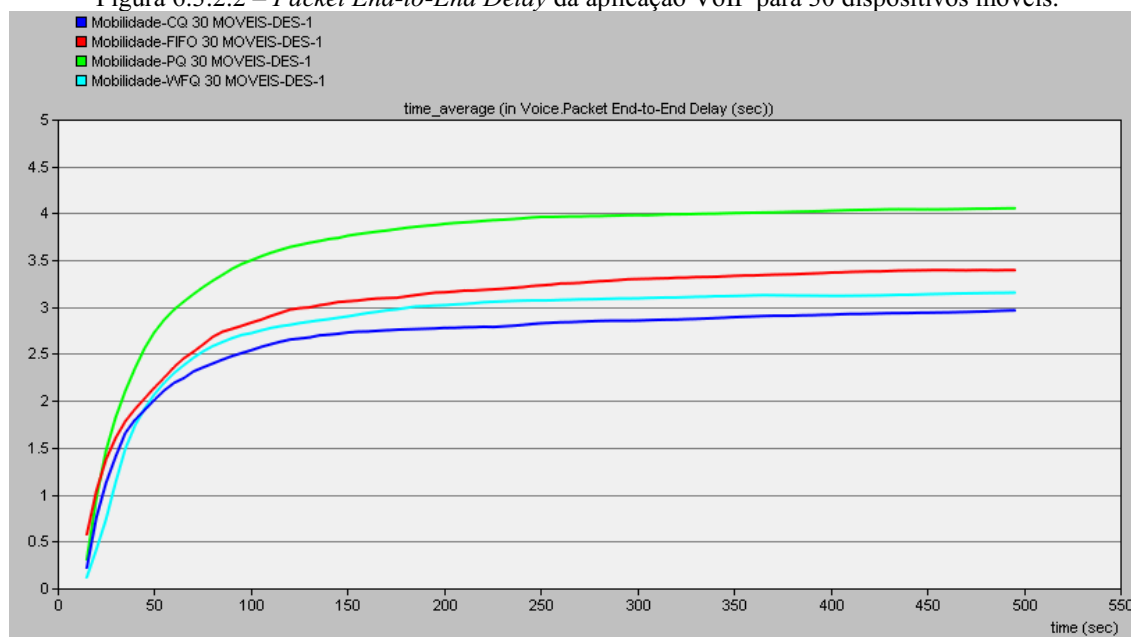


Fonte: *software* OPNET.

Já em cenários com muitos dispositivos os algoritmos tendem ter suas filas sobrecarregadas, não conseguindo trabalhar de maneira eficiente, além de descartar cada vez mais pacotes e tornando-se redes insustentáveis. Neste quesito o algoritmo FIFO teve um melhor rendimento em relação aos demais, uma vez que menos processamento é exigido devido à ausência de mecanismos de prioridades. O que pode ser visualizado pela Figura 6.3.2.1.

O que pode ser feito para contornar este gargalo seria aumentar o tamanho do *buffer* nos dispositivos, possibilitando um maior armazenamento de dados nas filas. Outra solução, seria aumentar a largura de banda disponível, o que reduziria as bufferizações e descartes [23].

Figura 6.3.2.2 – *Packet End-to-End Delay* da aplicação VoIP para 30 dispositivos móveis.

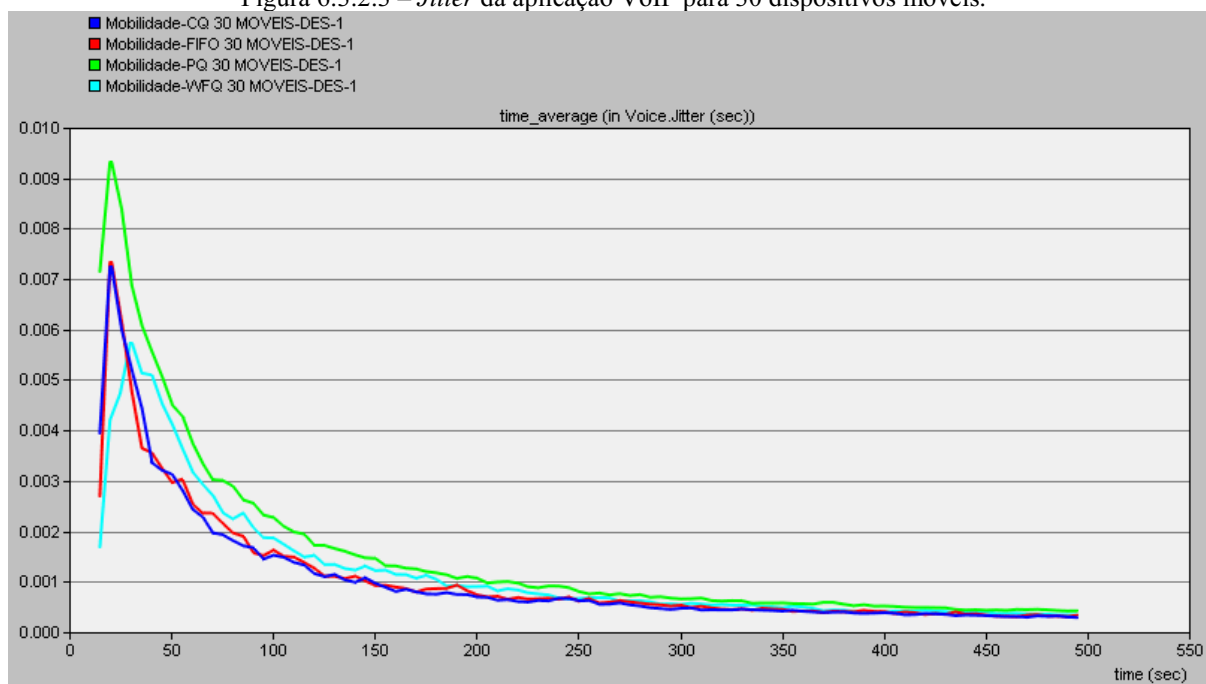


Fonte: *software* OPNET.

O atraso fim a fim corresponde ao atraso acumulativo da transmissão, processamento e nas filas dos dispositivos. O incremento no número de dispositivos e a alta mobilidade gera um maior processamento por gerar maiores filas nos dispositivos. Desta forma, as filas com prioridade, devido à maior complexidade no tratamento dos dados, refletem um aumento mais expressivo nos atrasos fim a fim em relação ao FIFO. O que pode ser observado comparando a Figura 6.3.1.2 e a Figura 6.3.2.2, neste caso, a política PQ teve um incremento de 500% no atraso fim a fim, pela teoria vista, devido a seu escalonador.

Visualizando a Figura 6.3.2.2, a política CQ obteve o menor atraso fim a fim, seguido do WFQ. Nestes casos, o atraso fim a fim superou os 400 ms, inaceitáveis para redes VoIP [23 e ITU-R G.114].

Figura 6.3.2.3 – *Jitter* da aplicação VoIP para 30 dispositivos móveis.

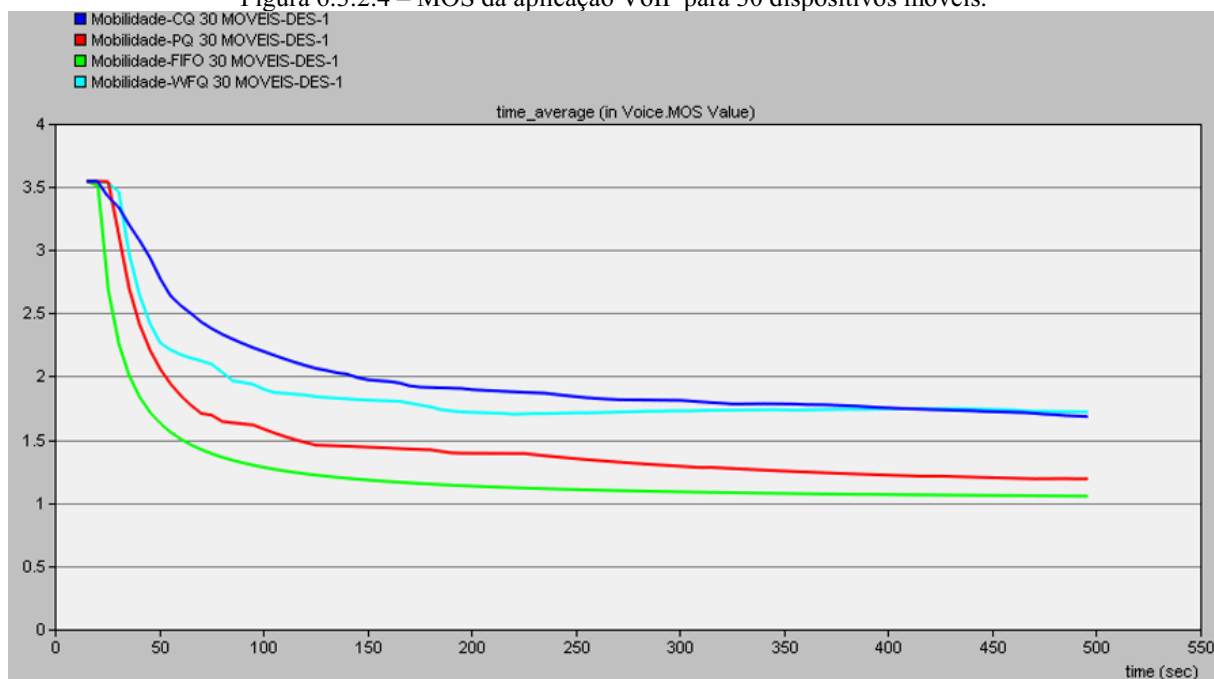


Fonte: *software* OPNET.

Nestes cenários, operando com sobrecarga, percebe-se *jitter* positivo em todas as políticas de enfileiramento, visto na Figura 6.3.2.3. O PQ expressou o maior *jitter*, e após breves picos elevados se estabilizaram. No caso do PQ, isto se deve ao *scheduling*, o qual propiciou uma variação de tempo entre os pacotes maior no transmissor ($T2 - T1$) do que no receptor ($T4 - T3$).

De acordo com dados, *jitters* menores que 40 ms são praticáveis. Por meio disto e observando a Figura 6.3.2.3 mesmo no pico dos 9,4 ms de *jitter* do PQ, ainda estaria na faixa aceitável para VoIP [ITU-R G.114].

Figura 6.3.2.4 – MOS da aplicação VoIP para 30 dispositivos móveis.



Fonte: *software* OPNET.

Em um cenário como este, operando com sobrecarga, as aplicações mais sensíveis se deteriorarão mais rapidamente, pois terão cada vez menos reserva de banda associada. Diferentemente do FIFO, independente de quão ruim esta reserva esteja, os algoritmos PQ, CQ e WFQ trabalham afim de assegurar o máximo de qualidade para aplicações sensíveis como VoIP. A Figura 6.4.2.3 mostra o esforço das políticas com prioridade em tentar manter o MOS o mais alto possível [23].

Nesta análise específica, o CQ foi a política que apresentou menor atraso fim a fim em comparação as demais, além de obter o melhor MOS junto do WFQ.

6.4 ANÁLISE DOS EFEITOS DE PROVER QOS

Nesta seção verificam-se efetivamente se as políticas de escalonamento proporcionaram QoS entre as diferentes aplicações. Além disto, foi verificado os efeitos que proporcionar QoS em uma rede pode causar. A descrição da análise dos efeitos de prover QoS é a terceira parte das análises, descrita no Capítulo 5, seção 5.5. Desta forma, os objetos gráficos foram gerados, estes podem ser visualizados logo abaixo:

Figura 6.4.1 – Tráfego FTP recebido.

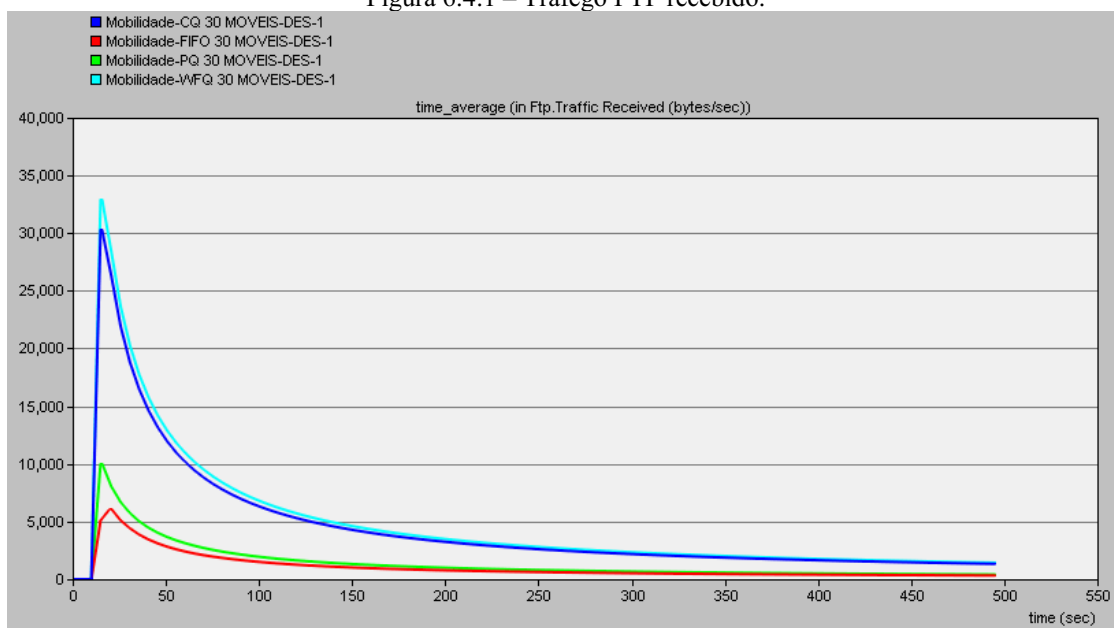
Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.4.2 – Tráfego de vídeo conferência recebido

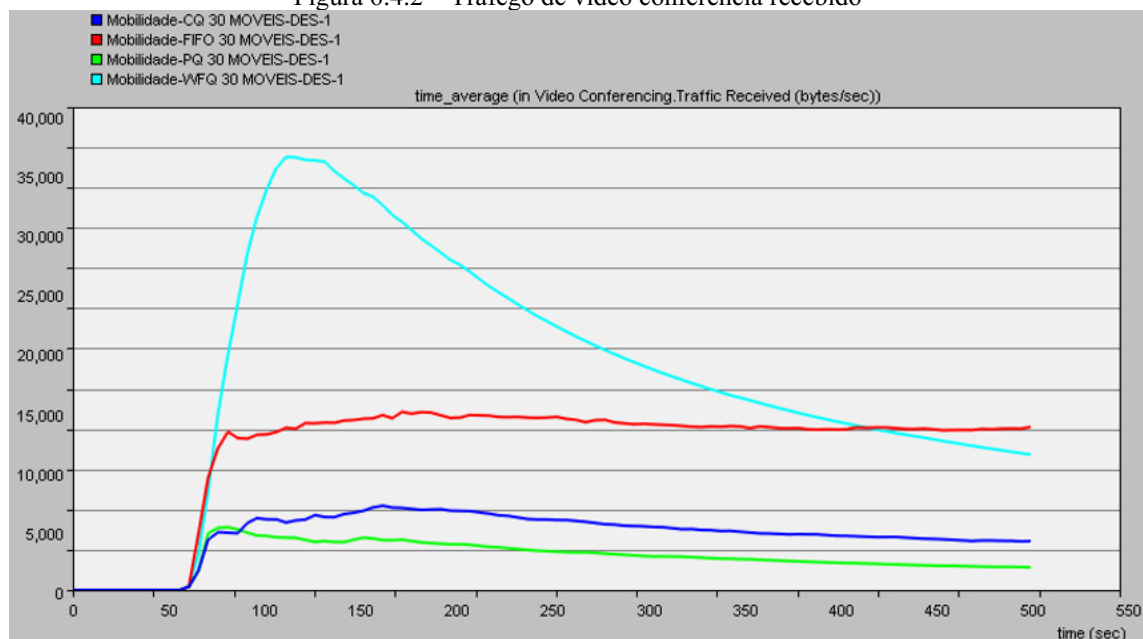
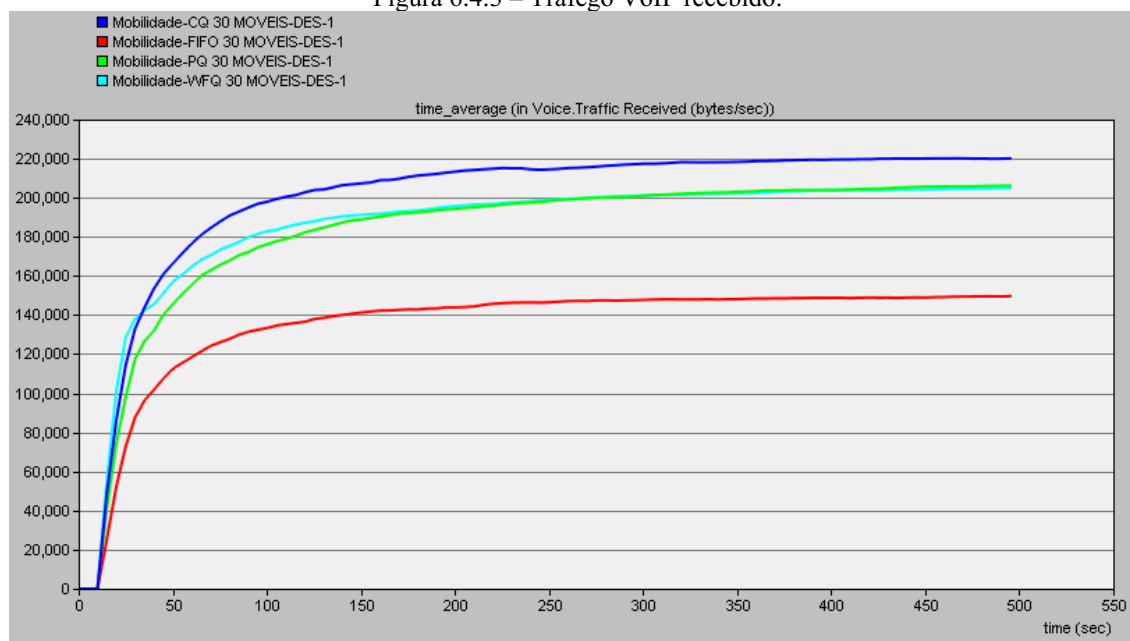
Fonte: *software* OPNET.

Figura 6.4.3 – Tráfego VoIP recebido.



Fonte: software OPNET.

Antes de analisar os efeitos de prover QoS é importante ressaltar as características de transmissões de dados (FTP e vídeo conferência) versus voz (VoIP):

- Dados (FTP e vídeo conferência): trafegam em rajadas, necessitam de mais largura de banda e são menos sensíveis a atrasos e perdas [23];
- Voz (VoIP): precisa de menos largura de banda, tráfego com constância (sem rajada). É altamente sensível à perdas e atrasos [23].

Em redes com pouca largura de banda disponível onde há competição por banda, e/ou operam com aplicação sensível como VoIP, há a necessidade de fornecer QoS. No entanto este fornecimento exige recursos da rede. Em outras palavras, os *trade-offs* são inevitáveis em redes como estas. E o maior deles em redes com QoS é fenômeno de *starvation*, o qual acomete de forma mais significativa tráfegos de baixa prioridade, fazendo com que os mesmos tenham pouco ou nenhum recurso (banda) disponível. Este fenômeno ocorre principalmente nas filas de baixa prioridade do PQ e CQ [23].

Nos cenários operando em sobrecarga, o fenômeno se torna mais evidente, pois com mais dispositivos e alta mobilidade, uma maior quantidade de recursos para as aplicações de alta prioridade são exigidos, e conseqüentemente, menos recursos para as de baixa prioridade. Observando comparativamente a Figura 6.4.1 e a Figura 6.4.3. Ou a Figura 6.4.2 e Figura 6.4.3. Fica evidente o “estrangulamento” gradual que as aplicações de baixa prioridade sofrem no

decorrer do tempo em comparação com a de alta, principalmente na aplicação FTP, de menor prioridade dentre todas.

É interessante notar que diferentemente das demais políticas, o algoritmo WFQ possui um mecanismo que permite em cada fila uma maior dedicação com o seu fluxo, tentando eliminar ao máximo não só o fenômeno de *starvation*, mas minimizar os atrasos. A ideia por trás disto é assegurar uma reserva de banda o mais justa e o mais precisa entre os fluxos. Portanto, entre as políticas que utilizaram ToS, ela foi a mais “justa” e balanceada, pois permitiu um maior tráfego para as aplicações de baixa prioridade em relação as demais citadas, o que pode ser observado nas três figuras anteriores [23].

6.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir destas conclusões, infere-se que um incremento no número de dispositivos e a alta mobilidade é um obstáculo no fornecimento de QoS para as MANETs. Este efeito foi mais influente em cenários onde os algoritmos de enfileiramento operam com mecanismos de prioridades visando QoS, além disto, foi possível perceber que para fornecer qualidade de serviço recursos são exigidos da rede, os quais podem prejudicar de forma distinta os diferentes fluxos que trafegam entre as filas.

REFERÊNCIAS

- [1] MA, Maode; MA, Mieso; ZHANG, Yan. *Wireless Quality of Service*. United States of America: Taylor & Francis Group, LLC, 2009. Bibliografia: p. 3. ISBN 978-1-4200-5130-8.
- [2] CHEN, W.; TSAI, J; GERLA, M. *Qos routing performance in multi-hop, multimedia, wireless networks*. IEEE ICUPC, 1997.
- [3] ALBUQUERQUE, E. **QoS: qualidade de serviço em redes de computadores**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2013. ISBN 978-85-352-7232-1.
- [4] EVANS, D.; JARBOE, G.; THOMASES, H.; SMITH, M.; TREADAWAY, C. *Networking Compleat*. 3. ed. United States of America, WILEY, 2002. ISBN 978-0-7821-4143-6.
- [5] MOHAMMAD, I. *The handbook of ad hoc wireless networks*. United States of America. CRC Press, LLC, 2003. ISBN 0-8493-1332-5.
- [6] TANENBAUM, A.S. **Redes de computadores**. 4. ed. Brazil, 2003. Editora Campus Elsevier. ISBN 8535211853.
- [7] ROSS, J. *The Book of Wireless: A painless guide to wi-fi and broadband wireless*. 2. Ed. United States of America, No Starch Press, 2008. ISBN 978-1-59327-169-5.
- [8] HIERTZ, G. R.; DENTENEER, D. P. *IEEE Standards in Communication and Networking*. United States of America, 2010.
- [9] GAST, M. S. *802.11 Wireless Networks The Definitive Guide*. United States of America, O'Reilly, 2002. ISBN 0-596-00183-5.
- [10] BASAGNI, S.; CONTI, M. *Mobile Ad Hoc Networking*. United States of America, IEEE Press, 2004. ISBN 0-471-37313-3.
- [11] KUMAR, S. *Ad hoc mobile wireless networks: principles, protocols and applications*. United States of America: Taylor & Francis Group, 2007. ISBN 978-1-4200-6221-2.
- [12] MAURO, A. C. **Tópicos em Sistemas de Computação**. São José do Rio Preto, Disponível em: <<https://angel.acmesecurity.org/~adriano/aulas/topicos/2015/9-topicos-sc-2015-slides-multmidia-parte3.pdf>>. Acesso em: 08 set. 2017.
- [13] PARVEZ, J; AHMAD, M. P. *A Comparative Analysis of Performance and QoS Issues in MANETs*. Disponível em <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.309.4750&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 10 set. 2017.

- [14] PARK, K. I. ***QoS In Packet Networks***. United States of America: Springer Science, 2005. ISBN 0-378-23389-X.
- [15] BARREIROS, M; LUNDQVIST, P. ***Qos-Enabled Networks: Tools and Foundations***. United Kingdom: John Wiley & Sons, 2011. IBSN 978-0-470-68697-3.
- [16] AAD, I; CASTELLUCIA, C. ***Differentiation mechanisms for IEEE 802.11***. Alaska, 2001.
- [17] AAD, I; CASTELLUCIA, C. ***Remarks on per-flow differentiation in IEEE 802.11. In Proceedings of the European Wireless***. Itália, 2002.
- [18] AHN, G; CAMBELL, A; LEE, S; ZHANG, X. ***Improving UDP and TCP Performance in Mobile Ad Hoc Networks with INSIGNIA***. United States of America, 2001.
- [19] AHN, G; CAMBELL, A; LEE, S; ZHANG, X. ***“INSIGNIA”, INTERNET-DRAFT, draft-ietf-manet- insignia-01***. Disponível em <<https://tools.ietf.org/html/draft-ietf-manet-insignia-01>> Acesso em: 20 out. 2017.
- [20] AHN, G; CAMBELL, A; VERES, A; HSIANG, S. ***Supporting Service Differentiation for Real-Time and Best Effort Traffic in Stateless Wireless Ad Hoc Networks (SWAN)***. United States of America, 2002.
- [21] LU, Z. ***Unlocking the power of OPNET modeler***. United States of America, Cambridge University Press, 2012. IBSN 978-0-521-19874-5.
- [22] ILYAS, M. ***The handbook of ad hoc wireless networks***. United States of America, CRC Press, 2003. IBSN 0-8493-1332-5.
- [23] CISCO, S. ***Introduction to IP QoS Course***. United States of America, CISCO Press, 2001.
- [24] OMBATI, E; ODUOL, S. ***First In First Out (FIFO) And Priority Packets Scheduling Based On Type Of Service (TOS)***. Kenya, University of Nairobi, 2014.
- [25] ILAHI, M. ***Analyzing MANET Routing Performance Using OPNET Simulator***. United Kingdom, London College Press, 2011.

RECOMENDAÇÕES

- [802.11e] IEEE STANDARD – IEEE STD 802.11E-2005. *Amendment 8: Medium Access Control (MAC) Quality of Service Enhancements.*
- [ITU-R M. 1450-4] *Recommendation Of Characteristics of broadband radio local area Networks.*
- [ITU-R G.114] *Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection*
- [RFC 791] *Internet Protocol (IP)*
- [RFC 3561] *AODV Protocol*