

ROBERSON CESAR ALVES DE ARAUJO

**MECANISMO PARA CÁLCULO DE CUSTO  
INTELIGENTE EM REDES AUTONÔMICAS  
SEM FIO EM MALHA - MESH**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Informática.

Curitiba PR  
Fevereiro de 2011



ROBERSON CESAR ALVES DE ARAUJO

# **MECANISMO PARA CÁLCULO DE CUSTO INTELIGENTE EM REDES AUTONÔMICAS SEM FIO EM MALHA - MESH**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Informática da Pontifícia Universidade Católica do Paraná como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Informática.

Área de concentração: *Ciência da Computação*

Orientador: Mauro Sérgio Pereira Fonseca

Curitiba PR  
Fevereiro de 2011

Dados da Catalogação na Publicação  
Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Sistema Integrado de Bibliotecas - SIBI/PUCPR  
Biblioteca Central

Araujo, Roberson Cesar Alves de.

A663m Mecanismo para Cálculo de Custo Inteligente em Redes Autônomicas  
2011 sem Fio em Malha - MESH / Roberson Cesar Alves de Araujo ; orientador,  
Sergio Pereira Fonseca. - 2011.

Xxii, 73 f.:il. ; 30cm

Dissertação (Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná, Curitiba,  
2011 Bibliografia: f. 55-60

1. Informática. 2. Geração numérica de malhas (Análise numérica). 3. Sistemas  
de comunicação sem fio. I.Fonseca, Sergio Pereira. II.Pontifícia Universidade  
Católica do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Informática II.Título  
CDD 20.ed.-004



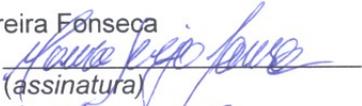


Pontifícia Universidade Católica do Paraná  
Centro de Ciências Exatas e de Tecnologia  
Programa de Pós-Graduação em Informática

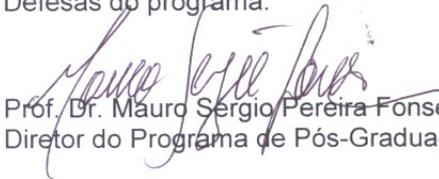
ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM INFORMÁTICA

DEFESA DE DISSERTAÇÃO Nº 01/2011

Aos 23 dias do mês de Fevereiro de 2011 realizou-se a sessão pública de Defesa da Dissertação “**Mecanismo para Cálculo de Custo Inteligente em Redes Autônomicas sem fio em Malha - MESH.**” apresentada pelo aluno **Roberson Cesar Alves de Araujo** como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Informática, perante uma Banca Examinadora composta pelos seguintes membros:

Prof. Dr. Mauro Sergio Pereira Fonseca PUCPR (Orientador)	 (assinatura)	<u>APROVADO</u> (aprov/reprov.)
Prof. Dr. Fabricio Enembreck PUCPR		<u>APROVADO</u>
Profª. Drª. Anelise Mumaretto UTFPR / CPGEI		<u>APROVADO</u>

Conforme as normas regimentais do PPGIa e da PUCPR, o trabalho apresentado foi considerado APROVADO (*aprovadolreprovado*), segundo avaliação da maioria dos membros desta Banca Examinadora. Este resultado está condicionado ao cumprimento integral das solicitações da Banca Examinadora registradas no Livro de Defesas do programa.

  
Prof. Dr. Mauro Sergio Pereira Fonseca  
Diretor do Programa de Pós-Graduação em Informática



*A meu irmão Dieferson Luis Alves  
de Araujo.*



# Agradecimentos

É grande o desejo de expressar sinceros agradecimentos a muitos e tantos adorados familiares e amigos, tanto aos "velhos" e queridos quanto aos que se revelaram ao longo desse tempo. Bem sei que corro o risco de não dar conta desse "muitíssimo obrigado" como é merecido, porque será difícil exprimir a importância desse movimento de energias e impulsos que foram chegando. Por tudo isso destaca-se também, para além da mera formalidade, um sentido: o da formação de uma verdadeira rede de solidariedade.

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, pela fé que me manteve vivo e fiel à vida honesta de trabalho e estudo. Agradecer ao Professor Doutor Mauro Sergio Pereira Fonseca, meu orientador, pela sua inesgotável paciência e compreensão ao longo de todos estes anos de acompanhamento, com a calma necessária para me ajudar a transpor os momentos difíceis.

A todos os professores que participaram deste trabalho incentivando a pesquisa como forma de criação e melhorias para a vida humana. Uma palavra de apreço muito especial também para a minha família, pelo inesgotável apoio ao longo de todos estes anos. Ao meu irmão Dieferson e sua esposa Elisa pelo apoio em algumas dificuldades encontradas no desenvolvimento deste trabalho, aos meus filhos e meus familiares, os meus agradecimentos.

Por último, gostaria também de deixar uma palavra de agradecimento ao meu amigo Cleverton Juliano Alves Vicentini pelo importante apoio a este trabalho, e para todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram com palavras de incentivo para a conclusão deste trabalho. Há muito mais a quem agradecer. A todos aqueles que, embora não nomeados, me brindaram com seus inestimáveis apoios em distintos momentos.

Meus sinceros votos de agradecimento.



# Resumo

Este documento apresenta uma nova abordagem para calcular o custo dos enlaces de redes em malha sem fio usando uma técnica de reconhecimento de padrões em substituição das métricas de funções contínuas comumente utilizadas. Em redes em malha podemos muitas vezes ter a ocorrência do fenômeno conhecido como formação de vales, levando ao congestionamento dos enlaces nestes vales. Isso resulta em uma elevação na taxa de bloqueio com perda de pacotes pelo aumento excessivo da fila de dados nestas rotas. A percepção das perdas de pacotes e o redirecionamento de tráfego através da utilização de outros enlaces periféricos apresentam-se como possível solução para o problema. O presente trabalho propõe o uso de técnicas de inteligência artificial para reconhecimento de padrões com o objetivo de mitigar a formação de vales e perdas por filas cheias. O desempenho desta proposta foi avaliado e comparado com as métricas ML (Minimum Loss) e ETX (Expected Transmission Count) amplamente utilizadas. Através das simulações realizadas foi observado que a proposta apresentou melhor desempenho no modelo de rede utilizado.

**Palavras-chave:** mesh, roteamento, auto-configuração.



# Abstract

This document presents a novel metric to routing protocols in wireless mesh networks based on pattern recognition. In mesh networks a routing protocol may avoid the valley formation in some routes that can result in links congestion. Such a problem results in an increase of the blocking rate with packets loss due to the growing increase of the data queueing in these routes. The packet loss indication and the traffic redirecting through the use of others secondaries links can be the solution of this problem. This approach proposes the use of artificial intelligence techniques to the pattern recognition to mitigate the valleys formation and packet loss due to overflow queueing. The performance of the proposed technique is evaluated under simulations and compared to well-known routing metrics (ML (Minimum Loss) and ETX (Expected Transmission Count)). Through the simulations, it is possible to observe that the proposal technique presented a better performance in the used network model.

**Keywords:** mobilidade, TDE,



# Sumário

<b>Resumo</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Lista de Figuras</b>	<b>xix</b>
<b>Lista de Tabelas</b>	<b>xxi</b>
<b>Lista de Abreviações</b>	<b>xxii</b>
<b>1 Introdução</b>	<b>1</b>
1.1 Motivação . . . . .	1
1.2 Desafios . . . . .	3
1.3 Organização do Texto . . . . .	4
<b>2 Fundamentação Teórica</b>	<b>5</b>
2.1 Redes sem fio em malha - <i>MESH</i> (Conceito) . . . . .	5
2.2 Modelo de redes MESH . . . . .	6
2.2.1 Protocolos de Roteamento para Wireless Mesh Networks . . . . .	7
2.2.2 Métricas de Roteamento para Wireless Mesh Networks . . . . .	8
2.3 Utilização de algoritmos inteligentes em redes . . . . .	11
2.3.1 Teoria Genética . . . . .	11
2.3.2 Teoria de Jogos . . . . .	12
2.3.3 Técnica de Reconhecimentos de padrões / <i>k-Nearest Neighbors</i> - <i>k-NN</i> . . . . .	12
2.4 Redes Autônomicas (Teoria Geral) . . . . .	14
2.4.1 Elementos Autônomicos - Funcionamento . . . . .	16
2.4.2 Auto-configuração de Serviços . . . . .	17
2.4.3 Soluções e Metas com Serviços . . . . .	17
2.4.4 Computação Autônomicas . . . . .	18
2.4.5 Principais Aspectos de um Sistema Auto-Gerenciável . . . . .	18
2.4.6 Princípio de Auto-Configuração . . . . .	19
2.4.7 Princípio de Auto-Otimização . . . . .	19
2.4.8 Princípio de Auto-Cura . . . . .	19
2.4.9 Princípio de Auto-Proteção . . . . .	20
2.4.10 Portabilidade . . . . .	20
2.5 Voz sobre IP (VoIP) . . . . .	21
2.6 Trabalhos Relacionados . . . . .	22

2.7	Problemática . . . . .	23
2.8	Conclusão do Capítulo . . . . .	23
<b>3</b>	<b>Elemento Inteligente para Definição de Custo de Enlace</b>	<b>25</b>
3.1	Arquitetura Proposta . . . . .	25
3.2	Metodologia de Aprendizado Utilizada . . . . .	28
3.3	Fator Ponderador de Coeficiente de Memória . . . . .	28
3.3.1	Determinação do coeficiente de memória . . . . .	29
3.4	Classificação dos Tipos de Informação . . . . .	30
3.5	Funcionalidades do TDE no Modelo de Serviços da Rede . . . . .	31
3.5.1	Descrição das funcionalidades . . . . .	32
3.6	Estrutura de Funcionamento . . . . .	34
3.7	Princípios Autonômicos . . . . .	35
3.8	Reconfiguração do Ambiente . . . . .	36
3.9	Tabela de Aprendizado k-NN . . . . .	36
<b>4</b>	<b>Experimentos e resultados</b>	<b>39</b>
4.1	Descrição do modelo de simulação . . . . .	39
4.1.1	Métodos e Modelo de Execução . . . . .	40
4.1.2	Simulação de tráfego . . . . .	42
4.2	Formato para obtenção dos resultados na simulação . . . . .	43
4.3	Tratamento dos resultados das simulações . . . . .	44
4.3.1	Dados relativos ao tráfego VoIP simulado . . . . .	45
4.3.2	Dados relativos ao tráfego FTP simulado . . . . .	49
<b>5</b>	<b>Conclusão</b>	<b>53</b>
5.1	Conclusões e perspectivas de trabalho futuro . . . . .	53
5.1.1	Conclusões do trabalho realizado . . . . .	54
5.1.2	Perspectivas em trabalhos futuros . . . . .	54
<b>A</b>	<b>Informações complementares sobre parâmetros da simulação - NS-2</b>	<b>61</b>
A.1	Parâmetros de posicionamento dos nós . . . . .	61
A.2	Parâmetros de tráfego UDP . . . . .	62
A.3	Parâmetros de tráfego background . . . . .	62
A.4	Parâmetros da tabela de aprendizado para KNN . . . . .	63
A.5	Metodologia de análise para avaliar a relevância de mobilidade . . . . .	64
A.6	Soluções de código aberto (OpenSource) para implementação . . . . .	66
A.6.1	Padrão de rede e firmware para implementação - Mesh . . . . .	66
<b>B</b>	<b>Alterando Firmware em AP</b>	<b>67</b>
B.1	Sistema MESH Utilizando OLSRD . . . . .	67
B.2	Requisitos para Versão 5.3b . . . . .	67
B.3	Recursos . . . . .	67
B.4	Recursos . . . . .	67
B.5	Modelos Testados . . . . .	69
B.6	Notas de Versão . . . . .	70
B.7	Controle de Potência . . . . .	70

B.8	Notas sobre o Modelo de Operação . . . . .	70
B.9	Controle de Banda . . . . .	70
B.10	Utilizando Controle de Banda com Grupos de QOS . . . . .	71
B.11	Garantindo Banda em Sistema VOIP com Grupos de QOS . . . . .	73
B.12	Controle de Banda por Edição de Arquivo . . . . .	73



# Lista de Figuras

1.1	Modelo de Estrutura de Redes em Malha sem Fio adaptado de [DES, 2009]. . . . .	2
2.1	Simbologia de rede mesh [MES, 2009]. . . . .	5
2.2	Modelo de estrutura de rede mesh. . . . .	7
2.3	Modelo gráfico de 3-NN num espaço bidimensional. . . . .	14
2.4	Estrutura Interna de um Elemento Autônomo [Kephart et al., 2003]. . . . .	16
2.5	Propriedades básicas de um sistema autônomo. . . . .	19
2.6	Aparelho Digital de Rede [Katsuno et al., 2005]. . . . .	20
3.1	Exemplo de topologia de rede . . . . .	26
3.2	Características utilizadas pelo TDE para definição de custo de enlace. . . . .	27
3.3	Média do atraso com 1 chamada de tráfego VoIP em diferentes coeficientes de memória . . . . .	29
3.4	Média da vazão com 1 chamada de tráfego VoIP em diferentes coeficientes de memória . . . . .	30
3.5	Média de bloqueio com 1 chamada de tráfego VoIP em diferentes coeficientes de memória . . . . .	30
3.6	Comportamento do TDE por classe . . . . .	32
3.7	Funcionalidades do TDE no Modelo de Serviços em Rede Mesh . . . . .	33
3.8	Sequência de funcionamento - TDE . . . . .	35
4.1	Campus PUC-PR Adaptado de [Vicentini et al., 2010] . . . . .	42
4.2	Média de jitter no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP . . . . .	45
4.3	Média do atraso no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP . . . . .	46
4.4	Média da vazão no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP . . . . .	46
4.5	Média de bloqueio no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP . . . . .	47
4.6	Comparativo de bloqueios por tipo nas diferentes formas de obtenção de custo de enlace (VoIP e TCP) . . . . .	48
4.7	Média geral de todo o tráfego simulado - gráfico de Jitter e Atraso . . . . .	48
4.8	Média geral de todo o tráfego simulado - gráfico de Vazão e bloqueio . . . . .	48
4.9	Média de jitter no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP . . . . .	49
4.10	Média de Atraso no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP . . . . .	50
4.11	Média da Vazão no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP . . . . .	50
4.12	Média de Bloqueio no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP . . . . .	51
4.13	Média do Jitter e Atraso no tráfego FTP . . . . .	51
4.14	Média da Vazão e Bloqueio no tráfego FTP . . . . .	51



# Lista de Tabelas

2.1	Comparativo da necessidade de banda por Codec . . . . .	21
2.2	Taxas aceitáveis para perda de pacotes . . . . .	21
4.1	Modelo de tabela de aprendizado com 5 amostras . . . . .	40
4.2	Cálculo da distância em uma instância de consulta com 5 amostras . . . . .	41
4.3	Modelo de ordenação da distância KNN com 5 amostras . . . . .	41
4.4	Categoria Y de vizinhos mais próximos . . . . .	41
4.5	Localização dos nós na simulação[Vicentini et al., 2010] . . . . .	43
4.6	Parâmetros de simulação . . . . .	43
4.7	Fluxos de chamadas VoIP gerados na simulação . . . . .	44
4.8	Fluxos de chamadas FTP gerados na simulação . . . . .	44
A.1	Modelo de avaliação através de comparação de tipos de soluções à mobilidade [Duarte, 2008]. . . . .	65

# Lista de Abreviações

AODV	Ad Hoc On-Demand Distance Vector Routing
AP	Access Point
BSS	Basic Service Sets
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
DNS	Dynamic Name Service
DS	Distribution System
EA	Elemento Autônômico
EL	Equipamentos Legados
ENT	Effective Number of Transmissions
ESA	Elemento Sensor Autônômico
ESS	Extended Service Set
ETX	Expected Transmission Count
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IETF	Internet Engineering Task Force
ITU	International Telecommunication Union
k-NN	K-Nearest Neighbors
LAN	Local Area Network
MANETs	Mobile Ad-hoc Networks
MAP	Mesh Access Points
mETX	modified ETX
MP	Mesh Points
MPP	Mesh Portal
NIS	Network Information Service
NTP	Network Time Protocol
OLSR	Optimized Link State Routing
RSSF	Redes de Sensores Sem Fio
SLP	Service Location Protocol
TDE	Traffic Definition Element
TI	Tecnologia da Informação
TtM	Time to Migrate
WMN	Wireless Mesh Networks

# Capítulo 1

## Introdução

Cada vez mais novos computadores e telefones portáteis são equipados com adaptadores de redes sem fio, o que mostra a necessidade de investimentos em redes de acesso sem fio. Um tipo de rede de acesso sem fio muito difundido, devido a sua simplicidade de implementação, é a rede em malha sem fio (redes mesh) onde é formada uma topologia em malha entre os pontos de acesso. Para que essas redes sejam visíveis, é necessário que os pontos de acesso/roteadores possam encaminhar os dados para outros pontos de acesso/roteadores, através da criação de rotas e formação da topologia em malha. De forma geral as redes em malha utilizam protocolos de roteamento para criar rotas e tornar possível a comunicação entre os nós da rede. Para criar essas rotas, os protocolos de roteamento utilizam métricas para calcular o custo de cada uma delas e assim selecionar a melhor rota entre as rotas possíveis.

Na maioria das propostas encontradas na literatura essas métricas são baseadas em funções contínuas. Além disso, normalmente elas avaliam a qualidade dos enlaces de transmissão, sem a percepção de congestionamento e descarte de pacotes por sobrecarga na fila de dados.

Esta tese de dissertação de mestrado apresenta o desenvolvimento de um elemento inteligente para redes sem fio em malha utilizando técnicas de reconhecimento de padrões, proporcionando através de seu uso, novas formas de organização e utilização de redes. Assim, projetar e desenvolver uma nova arquitetura mais flexível, dinâmica e com uma formação de rotas de maneira mais autônoma com o uso dos enlaces periféricos de uma estrutura de rede.

O objetivo científico deste documento é identificar os princípios fundamentais de redes sem fio em malha aplicando melhorias neste modelo de redes com a proposta de substituir fórmulas de definição de métricas de roteamento. Com isso, otimizar roteamentos proporcionando a diminuição do bloqueio com aumento de vazão, atenuando funcionalidades da rede com uso de rotas periféricas.

### 1.1 Motivação

Atualmente, as redes sem fios são apresentadas como uma forma de tecnologia que se destaca pela capacidade de cobertura em larga escala no acesso à rede, sem os elevados custos de cabeamentos e impossibilidade de mobilidade. Elaborar uma infraestrutura de acesso exige a disposição de cabeamentos para interligar os diversos dispositivos existentes em um ambiente de rede, o que nem sempre é possível, seja por viabilidade técnica ou financeira.

Apesar das redes sem fio não apresentarem bons resultados quanto a performance em comparação às redes cabeadas com par metálico ou ainda as estruturas de rede como em fibra óptica, estas redes sem fio apresentam um baixo custo de implementação, além de uma maior flexibilidade como ilustrado na figura 1.1, onde nós da rede podem estar fixos ou em movimento. Assim, estas redes possuem características de baixo custo com possibilidade de mobilidade, podendo ser utilizadas em áreas com população de baixa renda. Diversas tecnologias de redes sem fio podem ser encontradas em inúmeros locais, algumas vezes simultâneas e com expectativa de operação semelhantes. Desenvolver um elemento inteligente que possa proporcionar redirecionamento de tráfego de redes, tem como um de seus fundamentos de estrutura, o modelo de rede autônoma.

A tentativa de solucionar o problema de descarte de pacotes diminuindo o percentual de bloqueios e aumentando a vazão torna-se uma necessidade quando se objetiva uma melhor utilização do cenário de redes em malha sem fio para tráfego de dados VoIP (Voice over Internet Protocol), uma vez que existe uma forte tendência a este tipo de tráfego. A possibilidade de utilização de rotas periféricas como forma de tentar proporcionar uma alternativa a estes fatores, uma vez que possam estar menos congestionadas, leva a uma expectativa de obtenção de resultados satisfatórios.

O desenvolvimento de um modelo de rede seguindo alguns princípios de rede autônoma apresentando o que são e em que se fundamentam, tem como base os princípios emergentes do gerenciamento ou propriedades básicas de um sistema autônomo, ilustrados na figura 2.5. O modelo de rede autônoma tem a utilização de elementos autônomos, os quais te a atividade de auxiliar muito no controle de tráfego em redes de computadores.

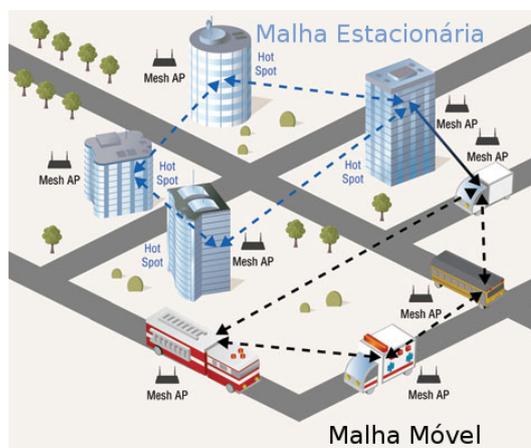


Figura 1.1: Modelo de Estrutura de Redes em Malha sem Fio adaptado de [DES, 2009].

Estas propriedades básicas, estão apresentadas como processos, tendo como um dos focos de pesquisa geral na atualidade uma abordagem do processo de auto-configuração de serviços de rede e desenvolvimento de aplicações autônomas. Redes autônomas surgem de uma necessidade maior de um gerenciamento e administração de redes de computadores, e também das redes de telecomunicações (telefonia), uma vez que estas duas redes tendem a uma convergência para uma única rede, necessitando então de uma infra-estrutura inteligente e de alta eficiência. Devem derivar deste cenário, o acesso universal a uma diversidade de novas oportunidades para tecnologias, aplicações e serviços [Nassif et al., 2005].

O que se pretende e se tem como fator motivacional, é através da implementação de uma rede inteligente que utiliza elementos inteligentes (autonomic elements -AE's) para configurar, reconfigurar e manter uma estrutura de rede sem fio em malha, efetuar uma melhoria na qualidade dos serviços através de seus roteamentos, uma vez que a variação de cenário torna-se maior em um cenário de rede Ad-hoc [Chaudhry et al., 2005].

## 1.2 Desafios

O desenvolvimento de novas tecnologias no sistema de transmissão sem fio proporcionou maior mobilidade a diversos dispositivos, melhorando seu desempenho, diminuindo seu tamanho e consumo de energia, possibilitando assim o desenvolvimento de pequenos dispositivos capazes de trabalhar com informações altamente complexas como vídeos e animações gráficas. Isto proporciona uma maior utilização por parte de usuários deste tipo de tecnologia, e que necessitam de uma forma de acesso a informações através de uma rede sem fio para explorarem plenamente o potencial de mobilidade destes dispositivos conforme apresentado no modelo proposto em [Lee et al., 2007].

Quando se avalia a limitação de acesso de cada equipamento que fornece acesso a esta estrutura de rede sem fio, tem-se uma necessidade maior de um espaço de cobertura, e apesar de ser possível a cobertura de uma grande área com aumento do número de usuários, o que nos demonstra a prática em [Couto et al., 2005] é que chegando-se em um certo número de saltos, a capacidade de comunicação entre dois nós torna-se relativamente menor. Isto causaria uma taxa de vazão baixa aos usuários de uma rede que estivessem a um grande número de saltos de um gateway ou mesmo em regiões com muitos usuários ativos [Passos et al., 2006].

Este problema de escalabilidade juntamente com a auto configuração de rede através de elementos inteligentes em cada nó de acesso que buscam proporcionar um ganho da capacidade de comunicação, apresentam-se como questões relevantes ao trabalho proposto. Uma vez que podem surgir novas oportunidades de rotas a cada momento, o desafio maior é buscar um novo roteamento dentro de um determinado intervalo de tempo a ser definido com a utilização de elementos autônômicos, de forma a evitar variações constantes nos roteamentos definindo o tempo antes de migrar ou TtM (Time to Migrate) apresentado em [Nassu et al., 2005], pois muitas variações de custos de enlaces podem causar maiores atrasos e maiores variações de atraso (*jitter*) devido a alteração constante de rotas. De forma a reduzir o número de variações, é necessário buscar uma variação de custos em um melhor tempo e com isto, proporcionar uma melhora, na qualidade dos serviços de rede. Tendo assim, uma utilização do modelo de rede Mesh através do uso de um modelo rede Autônômica proporcionando uma redução de interação humana do gerenciamento da rede.

Segundo [de Meer et al., 2006] a auto organização ou auto configuração *self-configuration*, tem um papel fundamental para o futuro da internet, pois poderá proporcionar flexibilidade e desenvolvimento do crescimento orgânico de sistemas de computadores como redes de sensoriamento sem fio. Uma arquitetura de comunicação cooperativa é o próximo paradigma para o futuro de redes sem fio segundo [Zhang and Fitzek, 2009], e para seu sucesso é importante a existência de um protocolo eficiente de auto organização.

A atividade de definir uma melhor rota em redes de computadores utilizando princípios autônômicos, tem fundamento também no documento de [Lee et al., 2007], onde é apresentado um framework para um sistema de reconfiguração de rede autônômica citando sua aplicação em uma grande rede heterogênea onde características dos nós móveis e demandas

de aplicações são diferentes, apresentando ainda uma proposta de um gerenciamento de roteamento ad hoc reconfigurável com *Q-learning* baseado no mecanismo de auto configuração para um aumento da adaptabilidade e escalabilidade em comparação ao protocolo original AODV, utilizando um ambiente de rede heterogêneo.

### 1.3 Organização do Texto

O Capítulo 2 descreve o referencial conceitual através da fundamentação teórica, contendo 8 seções, onde são apresentados os conceitos de redes sem fio em malha com a exposição da problemática atual, além de um embasamento sobre VoIP e conceito de redes autônomicas, descrevendo modelos de uso de elementos inteligentes. O capítulo 2 descreve também a possibilidade de mobilidade apresentada na seção 2.2 através das técnicas de IP móvel, fator motivacional para adoção deste cenário com futuras implementações deste tipo de técnica. Este capítulo é finalizado com a conclusão do capítulo observando-se os estudos realizados. O Capítulo 3 apresenta o modelo de implementação do trabalho e está dividido em 9 seções iniciando com uma descrição de um modelo de serviços de rede e apresentando um elemento autônomico denominado TDE (*Traffic Definition Element*) como forma de redistribuição inteligente de tráfego por percepção de uso excessivo de link. O Capítulo 4 descreve os experimentos e resultados obtidos através de um modelo de simulação, seguido do Capítulo 5 que apresenta as conclusões e perspectivas em trabalhos futuros.

# Capítulo 2

## Fundamentação Teórica

### 2.1 Redes sem fio em malha - *MESH* (Conceito)

De maneira geral, rede sem fio em malha (do Inglês Wireless Mesh Network, WMN), ou rede em malha acoplada, é aquela rede em que se agrupam as topologias *wireless*. Basicamente, são redes com topologia de infraestrutura, mas permitem se unir a rede de dispositivos que estão dentro do raio de cobertura de algum roteador, que diretamente ou indiretamente está dentro do raio de cobertura de um AP (Access Point). A relação entre os AP's é simbolicamente ilustrada pela figura 2.1

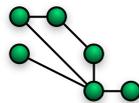


Figura 2.1: Simbologia de rede mesh [MES, 2009].

A rede *mesh*, surge como uma alternativa de protocolo ao padrão 802.11 para diretrizes de tráfego de dados e voz além das redes a cabo ou infraestrutura *wireless*. Uma rede de infraestrutura é composta de APs e clientes, os quais necessariamente devem utilizar aquele AP para trafegarem. Uma rede Mesh é composta de vários nós/roteadores, que passam a se comportar como uma única e grande rede, possibilitando que o cliente se conecte em qualquer um destes nós. Os nós fazem a função de repetidores e cada nó está conectado a um ou mais dos outros nós. Desta maneira é possível transmitir mensagens de um nó a outro por diferentes caminhos. Este tipo de rede possui a vantagem de ser uma rede de baixo custo, fácil implantação e muito tolerante a falhas. Os roteadores sem fio são tipicamente instalados no topo de edifícios e comunicam-se entre si usando protocolos como por exemplo, o OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) em modo ad-hoc através de múltiplos saltos de forma a encaminhar pacotes de dados aos seus destinos. Usuários em diversas estruturas edificadas podem se conectar à rede mesh de forma cabeada, tipicamente via Ethernet, ou de forma sem fio através de redes 802.11. Quando estiverem totalmente definidas as parametrizações para padronização do protocolo mesh pelo IEEE (*Institute of Electrical and Eletronic Engineers*), este protocolo deverá ser denominado padrão 802.11s [Hiertz et al., 2007].

A existência de uma a infra-estrutura com um ponto de acesso (AP) central caracteriza uma rede local sem fio com infra-estrutura. Outra ocorrência possível, seria de uma rede local sem fio sem infra-estrutura, onde os computadores acessariam outros nós da rede sem serem

mediados por um AP, esse modo de comunicação é chamado de modo Ad-hoc. O modo Ad-hoc torna-se vantajoso pelo fato de não necessitar da implantação prévia de uma infra-estrutura, característica muito útil em casos de desastres naturais e operações militares, sendo esta última, o objetivo principal da criação deste modelo de redes [Ramanathan and Redi, 2002]. As redes Mesh são um exemplo de utilização de redes Adhoc, onde os AP comunicam entre si, formando uma malha através da união de seus BSS formando um extenso ESS (Extended Service Set), que é uma rede de APs conectados entre si.

O protocolo de roteamento apresenta-se como um fator relevante para a implementação de um modelo de rede mesh, uma vez que faz a varredura das diversas possibilidades de rotas de fluxo de dados, baseado numa tabela dinâmica, onde cada equipamento seleciona qual a rota mais eficiente a seguir para chegar ao seu destino. Assim, levando em conta a rota mais rápida, com menos perda de pacotes, ou acesso mais rápido à internet, além de outros critérios. Esta varredura é realizada diversas vezes por segundo, sendo transparente ao usuário, por exemplo, quando um nó que estava sendo utilizado torna-se inoperante, o sistema se reorganiza automaticamente.

Outra característica importante das redes mesh é o *roaming*<sup>1</sup>, característica das redes que permitem ao usuário o trânsito entre nós da rede sem perder a conexão no momento da troca.

A consequência prática é a mobilidade geográfica que o sistema permite. O ganho com a possibilidade de apenas um nó estar conectado à internet aparece como outra vantagem do cenário, onde outros nós necessitam apenas de alimentação de energia. O sistema sempre reconhecerá quais saltos serão necessários para que a requisição de um cliente em qualquer ponto da rede, chegue da forma mais eficiente possível à internet.

## 2.2 Modelo de redes MESH

O modelo de redes sem fio em malha (*mesh*) pode ser definido como de topologia dinâmica e de crescimento orgânico, constituído por nós cuja comunicação no nível físico é feita através de uma das variantes dos padrões IEEE 802.11 e 802.16 e com roteamento dinâmico [Park et al., 2006]. Assim um modelo sem fio construído a partir de uma variedade de nós fixos e móveis estabelecendo uma rede *ad-hoc* interconectada por enlaces sem fio com o objetivo de prover um sistema de distribuição (*DS - Distribution System*) sem fio para conectar os diversos pontos de acesso (*BSS - Basic Service Sets*) ou outros tipos de rede em um único (ESS - Extended Service Set) mesh.

Atualmente encontram-se inúmeros estudos deste padrão por instituições de ensino e pesquisa, operadoras de telecomunicações e grandes empresas fornecedoras de equipamentos nesta área. As vantagens oferecidas por *mesh*, vão desde um menor custo de infra-estrutura pela menor necessidade de pontos lógicos em rede cabeada, até a conectividade, que é maior que em uma rede sem fio tradicional. Recentemente observa-se um crescente aumento no interesse por telefonia IP, vídeos e aplicações multimídia através de internet, o que acarreta uma maior transmissão de conteúdos de multimídia.

---

<sup>1</sup>Roaming é um termo empregado em telefonia móvel mas também aplicável a outras tecnologias de rede sem fio. Designa a habilidade de um usuário de uma rede para obter conectividade em áreas fora da localidade geográfica onde está registrado, ou seja, obtendo conectividade através de uma outra rede onde é visitante. A rede que está sendo visitada pode ou não pertencer a mesma operadora. O termo roaming tem origem no padrão GSM, o mais adotado para telefonia móvel [wik, 2009].

A transmissão de conteúdo de multimídia através de internet já é bastante desafiadora, uma vez que temos requisitos restritos de retardo e variação do retardo destas aplicações. O desafio aumenta ainda mais quando se trata de rede sem fio, devido a variação das condições da rede. Uma rede *mesh* é formada por equipamentos do tipo MP (*Mesh Points*), que possuem apenas funções básicas de rede *mesh*, os MAP (*Mesh Access Points*) que apresentam as funções básicas de rede mesh e funções de ponto de acesso, e ainda os MPP (*Mesh Portal*) que possuem funções básicas de rede mesh e de gateway para conexão com redes externas, que conectam EL (equipamentos legados) sem funções mesh como apresentada na figura 2.2.

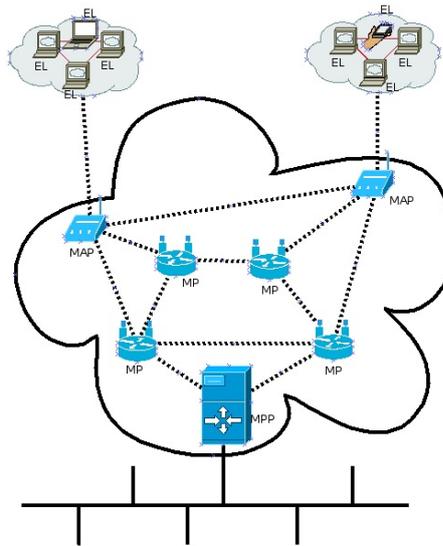


Figura 2.2: Modelo de estrutura de rede mesh.

Uma padronização do modelo está sendo tratado pelo IEEE através do padrão 802.11s com proposta de novos mecanismos de controle de acesso ao meio que avalia o tráfego de rede mesh em uma estrutura lógica em árvore devido ao encaminhamento deste tráfego ser de forma predominante relativo a diversos MPP (*Mesh Portal*).

Para obter suporte a mobilidade a nível de rede, é utilizada a técnica de IP móvel [Perkins et al., 2002], desenvolvida pela *Internet Engineering Task Force* (IETF) com o objetivo de permitir aos dispositivos móveis realizar movimentação entre diferentes redes de acesso mantendo um endereço IP permanente chamado de *home address*, e outro dinâmico chamado de *care-of-address*. O dinâmico, é relativo à rede de acesso a qual o cliente está situado, sendo alterado ao mover-se para outra rede.

A técnica de IP móvel utiliza um agente permanente chamado de Home Agent, que é um dispositivo com endereço fixo que encontra-se conectado a uma rede que possui o endereço permanente (*Home Address*) do cliente, assim, pode ser visto como representante do cliente. O agente tem o papel de gerenciar as informações sobre o cliente móvel ao qual representa.

### 2.2.1 Protocolos de Roteamento para Wireless Mesh Networks

Protocolos de roteamento *wireless* utilizados em redes do tipo *Mesh* utilizam três conceitos para construção de suas rotas: roteamento pró-ativo, roteamento reativo ou roteamento híbrido.

Onde:

- Protocolos de roteamento pró-ativos realizam constantemente a atualização de suas tabelas de roteamento, de forma que quando um caminho for solicitado sua rota seja conhecida previamente. Como exemplo de protocolo de roteamento pró-ativo o OLSR (*Optimized Link State Routing*) [Clausen and Jacquet, 2003].
- Protocolos de roteamento reativos fazem a descoberta de rotas sob-demanda, ou seja, somente quando um determinado nó origem necessita de uma rota para um destino é que o protocolo inicia o processo de descoberta da rota para o destino. O DSR (*Dynamic Source Routing*) [Johnson and Maltz, 1996] é exemplo de protocolo de roteamento reativo.
- Protocolos de roteamento híbridos trabalham de forma que dentro de uma determinada zona de roteamento seja utilizado o conceito pró-ativo e fora desta zona de roteamento seja utilizado o conceito reativo. O ZRP (*Zone Routing Protocol*) [Haas et al., 1997] é de origem híbrida.

Este trabalho utilizará como protocolo de roteamento o OLSR, sua escolha se dá pelo fato do mesmo reduzir o tamanho das mensagens de controle e minimizar o overhead proveniente da inundação de tráfego de controle [Munaretto et al., 2003]. Ainda, como neste trabalho não foram utilizados nós em movimento, a utilização de um protocolo pró-ativo proporcionou um cenário mais dinâmico em seu roteamento.

## 2.2.2 Métricas de Roteamento para Wireless Mesh Networks

Protocolos de roteamento utilizam-se das chamadas métricas de roteamento com a finalidade de definir um melhor caminho de um nó de origem para outro de destino em uma rede. Entre as métricas existentes, a mais encontrada em redes de computadores devido a sua simplicidade é a métrica de menor quantidade de saltos entre uma origem e um destino, porém em redes *wireless* esta abordagem não pode ser tomada como parâmetro, segundo [Couto et al., 2005] este paradigma pode levar a escolha de rotas ruins, pois a qualidade de um enlace pode ser fio pode ser muito ruim.

Visando contornar este inconveniente, surgiram novas métricas de roteamento que visam considerar algum tipo de fator que possa melhorar o desempenho da rede. Como exemplo pode-se citar as métricas: ETX (*Expected Transmission Count*) [Couto et al., 2005], ETT (*Expected Transmission Time*) e WCETT (*Weighted Cumulate ETT*) [Draves et al., 2004b], mETX (*modified ETX*), ENT (*Effective Number of Transmissions*) [Koksal and Balakrishnan, 2006], ML (*Minimum Loss*) [Passos and de Albuquerque, 2007] e AP (*Alternative Path*) [Mascarenhas et al., 2008]. Como o presente projeto objetiva criar um algoritmo que defina qual melhor métrica a ser utilizada pelo protocolo OLSR na obtenção da melhor rota de forma inteligente, será visto na sequência uma breve abordagem das métricas *Minimum Loss*, *Expected Transmission Count* e *Alternative Path* escolhidas para estudo e avaliação comparativa.

### ML (*Minimum Loss*)

A métrica *Minimum Loss* (ML) é uma métrica multiplicativa e tem base em probabilidades de sucesso na transmissão de pacotes no nível de enlace. Seu objetivo é encontrar rotas que minimizem a probabilidade de perda de um pacote.

Um peso atribuído a cada enlace  $x \rightarrow y$  será a probabilidade  $P_{xy}$  de que um pacote seja transmitido com sucesso de  $x$  para  $y$ . Uma interpretação para este evento é a de inserção de dois sub-eventos, onde um pacote enviado por  $x$  é recebido corretamente por  $y$ , e o ack referente ao pacote de dados é recebido corretamente por  $x$ . Sendo então o cálculo do produto das probabilidades dos sub-eventos igual a probabilidade  $P_{xy}$ .

Ao se atribuir os pesos ao número total de enlaces da rede, obtém-se a melhor rota entre dois nós naquela com probabilidade maior de sucesso na transmissão de um pacote fim a fim. Ou seja, em transmissões de um pacote pelos enlaces de uma rota como eventos independentes, a melhor rota entre dois pontos da rede será aquela que apresente o maior produto dos pesos dos enlaces.

Com isto, pode-se apresentar o valor  $ML_n$  equação: 2.1, que representa o custo total de uma rota composta por  $n$  enlaces como:

$$ML_n = \prod_{i=0}^{n-1} P_{x_i x_{i+1}} \quad (2.1)$$

Para implementar a métrica  $ML$ , primeiramente, deve-se obter as informações necessárias de cada enlace de forma que cada nó da rede envie pacotes de controle periódicos em broadcast, e estes deverão conter um número de sequência e uma indicação do seu tempo válido, onde o tempo válido deverá sempre ser maior do que o intervalo de envio dos pacotes. Quando este tipo de pacote é recebido, a janela de recebimentos do nó vizinho correspondente deverá ser atualizada, sendo necessária a identificação da origem do pacote. Para identificar pacotes perdidos desde o último pacote de controle recebido, o número de sequência deve ser verificado. Ao ocorrer de um pacote que esteja na janela tenha seu tempo de validade expirado, este, deverá ser imediatamente desconsiderado, sendo a janela passada para próxima posição.

Calculando-se a razão de pacotes recebidos pelo total de pacotes da janela, obtém-se a probabilidade de sucesso da recepção de um pacote enviado pelos seus nós vizinhos. Ainda, precisa-se que cada nó da rede divulgue periodicamente o estado das suas janelas, pois é necessário calcular o peso dos enlaces através de informações de retorno, dando ao nó informações para que ele saiba qual a probabilidade de que um pacote transmitido por ele chegue a cada um dos seus vizinhos. Para se obter o peso da rota, basta então, multiplicar as duas probabilidades para cada enlace.

### **ETX (*Expected Transmission Count*)**

A métrica *Expected Transmission Count* (ETX) [Campista et al., 2008] atua na medição contínua da taxa de perda entre cada nó de uma rede e seus respectivos vizinhos, através de um monitoramento das taxas de perda dos enlaces nas trocas de mensagens periódicas, assim como em enlaces alternativos. Objetivando apresentar caminhos com baixa taxa de transmissões necessárias para realizar a entrega de um pacote para seu destino. [Albuquerque et al., 2006]. O custo de uma rota é obtido através do cálculo das taxas de entregas de pacotes de ida (*forward delivery ratio* (df)) e de volta (*reverse delivery ratio* (dr)). O enlace de ida é responsável pelo envio de dados e o enlace de volta é responsável pelos reconhecimentos positivos (ACKs). A probabilidade de uma transmissão de dados e seu respectivo ACK é apresentada por:  $df * dr$ . A métrica ETX utiliza o inverso desta probabilidade [Esposito et al., 2007]. A métrica ETX é definida pela equação 2.2.

$$ETX = \frac{1}{df \times dr} \quad (2.2)$$

Para o protocolo OLSR, temos a utilização da métrica ETX através das taxas de recepção ( $d$ ) que são medidas através dos pacotes *hello* alterados, enviados a cada  $t$  segundos. Em cada nó da rede é realizado o cálculo de *hellos* recebidos em um período  $w$  de segundos e realizada a divisão do números de *hellos* que deveriam ter sido recebidos no mesmo período. Um pacote *hello* modificado contém informações do números de *hellos* recebidos pelo vizinho entre os últimos  $w$  segundos. [Albuquerque et al., 2006]. Ao receberem essas informações, os nós tem a possibilidade de estimar as taxas de entrega dos enlaces de ida ( $df$ ) para cada vizinho. Para realização do cálculo dos enlaces de volta ( $dr$ ), cada nó realiza a contagem dos *hellos* recebidos de cada vizinho no intervalo  $w$  [Esposito et al., 2007].

O exemplo a seguir ilustra o cálculo da métrica ETX descrito acima. Tendo uma transmissão de dados de A para B, um período de envio de pacotes *hello* de 1 segundo e uma janela  $w$  de 10 segundos, o número de pacotes recebidos caso não exista perda é 10. Se o nó A recebeu 6 pacotes *hello* no último intervalo  $w$ , e no último pacote *hello* recebido o nó B informou que havia recebido 7 pacotes *hello* de A no último intervalo  $w$ . A métrica ETX de A para B é dada por:

$$\frac{1}{\frac{6}{10} \times \frac{7}{10}} = 2,38 \quad (2.3)$$

É possível observar que conforme a equação 2.3 que quanto maior o valor da métrica ETX pior a qualidade do enlace.

Quando ocorrem a situação de caminhos com múltiplos saltos, o valor de ETX total da rota é obtido através da soma do valor de ETX de cada salto [Albuquerque et al., 2006]. Em uma rota do nó A até o nó C, passando por B, o valor final de ETX é demonstrado na equação 2.4.

$$ETX_{ac} = ETX_{ab} + ETX_{bc} \quad (2.4)$$

O protocolo que faz o uso da métrica ETX seleciona como melhor rota, a que de uma origem a um destino específico, apresente o menor valor de ETX.

Embora a métrica ETX apresente uma melhor estimativa à qualidade do enlace, a mesma possui deficiências. Pois são utilizados pacotes *broadcast* para obter as probabilidades. Estes pacotes tem uma taxa de pequeno tamanho (1Mbps). Desta forma a probabilidade de perda de pacote fica menor. Exemplificando, no caso de dois enlaces  $x$  e  $y$ , possuem valores de  $ETX = 1$  respectivamente. Representa que com a taxa de transmissão de 1Mbps não existirá perda entre os enlaces. Mas pode ocorrer a situação de um dos dois enlaces apresentarem perdas, por exemplo  $x$  apresenta perdas e  $y$  permanece normal. Assim a métrica irá avaliar ambos de igualmente, mesmo que o enlace  $y$  seja melhor que o enlace  $x$ .

### AP (Alternative Path)

A métrica AP segue o mesmo princípio da métrica ETX. O diferencial da métrica AP se dá no cálculo da qualidade dos enlaces adicionando o número de nós vizinhos para medição. Segundo [Mascarenhas et al., 2008] o objetivo deste aditivo ao cálculo é evitar enlaces com

muitos nós, visando diminuir a escolha de rotas com maiores interferências. O cálculo do número de nós vizinhos é dado pela seguinte fórmula:

$$F = P/NV \quad (2.5)$$

onde F (Fator F) recebe P (peso) dividido por NV (número de vizinhos). O fator F é adicionado a métrica ETX formando assim a métrica AP, como ilustrado na equação 2.6.

$$AP = \frac{1}{((E_d + F) \times E_r)} \quad (2.6)$$

Desta maneira o AP terá melhor desempenho em redes onde o número de vizinhos é relativamente grande, pois quanto maior a quantidade de vizinhos em um determinado enlace maior será a contribuição do fator F no cálculo da métrica.

## 2.3 Utilização de algoritmos inteligentes em redes

De forma geral, é difícil articular o conhecimento necessário para construir um sistema de IA (inteligência Artificial) [Russell et al., 1995], em alguns casos, podem ser construídos sistemas em que eles mesmos aprendam o conhecimento necessário. O objetivo desta seção é de apresentar alguns modelos de algoritmos inteligentes já utilizados em redes de computadores. Com isso, explicitar sobre seus funcionamentos de forma a ilustrar sua utilização.

A possibilidade de implementar em um modelo de redes de computadores um algoritmo para resolução de melhor caminho que determine o peso dos enlaces, pode ser identificada com o uso de uma das três técnicas já implementadas em redes, e que serão descritas neste documento. A primeira é o modelo de algoritmos genéticos, baseado na teoria genética de seleção natural, ou teoria da evolução, a segunda é a técnica de inteligência artificial que envolve a teoria matemática chamada de teoria de jogos, e a terceira utiliza um algoritmo de classificação baseado no vizinho mais próximo.

### 2.3.1 Teoria Genética

Algoritmos Genéticos (AG) [Goldberg, 1989], podem ser descritos como técnicas de busca baseadas nas teorias da evolução onde as variáveis de um problema estão representadas na forma de genes em um cromossomo, chamado ainda de indivíduo. O indivíduo é um ponto no espaço formado por um conjunto de coordenadas deste ponto. De maneira a garantir a sobrevivência dos indivíduos mais aptos e a troca de informação genética, os AG utilizam aleatoriamente estes elementos. Esta utilização se dá através de mecanismos como a seleção natural e o uso de operadores genéticos, a exemplo da mutação e o cruzamento encontram-se cromossomos com melhor aptidão.

Através da seleção natural, é garantido que os cromossomos mais aptos gerem descendentes nas próximas gerações. Com a utilização de um operador de cruzamento, o AG combina genes de dois cromossomos pais, previamente selecionados para formar dois novos cromossomos, os quais possuem enorme possibilidade de estarem mais aptos que os seus genitores [Fisher and Bennett, 1999].

Houve uma revolução de todo o pensamento acerca da evolução da vida e de suas origens quando Charles Darwin (1809-1882) em meados do século XIX, provocou muita discussão a respeito de uma teoria científica.

Em [Darwin, 1859] e em [Darwin, 1871] Darwin defendia que o homem, tal qual os outros seres vivos, é resultado da evolução. Em seus estudos Darwin concluiu que nem todos os organismos que nascem sobrevivem ou, o que é mais importante, reproduzem-se. Os indivíduos com mais oportunidades de sobrevivência seriam os que se apresentassem com características mais apropriadas para enfrentar as condições ambientais, eles teriam maior probabilidade de reproduzir-se e deixar descendentes. Com isto, as variações tenderiam a ser preservadas e as desfavoráveis, eliminadas.

Dentre os paradigmas da Computação Evolutiva, os AG's ocupam lugar de destaque devido a diversas razões como a sua apresentação como paradigma mais completo dentro da Computação Evolutiva visto que englobam de forma simples e natural todos os conceitos nela contidos.

Algoritmos genéticos são aplicados como técnica de busca e vem despertando um grande interesse de pesquisadores nas mais diversas aplicações. O trabalho de [Man et al., 1996] explana sobre diversos trabalhos de áreas distintas onde os AG's foram aplicados com eficiência.

Pode ser encontrado em [Pierre and Legault, 2002] a busca por uma topologia de rede que venha a diminuir os custos de comunicação através do uso de algoritmos genéticos e vem a ilustrar o objetivo desta seção de apresentar soluções inteligentes utilizadas em redes de computadores.

### 2.3.2 Teoria de Jogos

A teoria dos jogos [Johnstone, 1998] oferece um ferramental matemático que possibilita a modelagem e análise de situações onde dois ou mais agentes confrontam-se. Tendo como principal objetivo analisar as situações de confronto de forma lógica, determinando que ações os agentes devem tomar para resolver o confronto. As situações de confronto podem ser modeladas através de um "jogo", desta maneira caracterizando precisamente tal situação.

Um "jogo" contém no mínimo as características a seguir: 1- Dois ou mais jogadores; 2- Cada jogador possui um conjunto de estratégias. A estratégia é uma opção de ação para cada jogador; 3- Uma recompensa obtida por cada jogador e uma associação entre as estratégias escolhidas por todos os jogadores.

Um jogo pode modelar diversas situações como exemplo um confronto entre nações, empresas, entre outros. Onde a estratégia utilizada por cada jogador determina o resultado do jogo, sendo passiva de aplicação em redes sem fio do tipo *mesh*. Como exemplo da utilização da teoria de jogos em redes de computadores, temos o trabalho de [Shenker, 1995], onde podem ser encontradas aplicações da teoria de jogos à congestionamentos em redes de computadores.

### 2.3.3 Técnica de Reconhecimentos de padrões / *k-Nearest Neighbors* - *k-NN*

O *k-NN* é um algoritmo que tem como centro de seu funcionamento o descobrimento do valor vizinho mais próximo de uma dada instância de tupla. Este algoritmo, está contido em um grupo de técnicas denominado de *Instance-based Learning* [Mitchell, 1997a] onde são

encontrados os  $k$  vizinhos mais próximos da tupla de consulta, ao invés de apenas o vizinho mais próximo. Em termos gerais, temos que a técnica do  $k$ -NN, funciona com a utilização de uma base de dados de treinamento. Onde cada tupla (linha) do arquivo de teste tem como função o treinamento (*Instance-based*) e é usado para criar um espaço com todos os pontos de cada tupla da base de dados de treinamento. O primeiro passo é gerar um espaço com todos os pontos de cada tupla da base de dados de treinamento, após para classificar uma nova tupla, é preciso somente encontrar um conjunto de  $k$  pontos mais próximos do espaço recém criado. Então, realizando uma contagem de classe, entre estes  $k$  pontos, é preciso apenas perceber qual destas classe é a mais recorrente.

Assim, o  $k$ -NN é definido como um método e classificação supervisionado e não paramétrico, onde um padrão é dado como pertencente a uma classe de acordo com a quantidade de vizinhos que pertençam a essa mesma classe, através de um critério de distância, que podem ser a distância de Manhattan, Minkowski e Euclidiana [Khan et al., 2002], sendo esta última mais adotada pela comunidade científica [Witten I.H., 2005]. O processo da utilização do critério de distâncias Euclidiana pode ser definido através de um conjunto de treinamento com  $N$  exemplos conforme em 2.7.

$$X = \{(X_1, Y_1), \dots, (X_N, Y_N)\} \quad (2.7)$$

Onde a equação 2.8 é o rótulo ou classe do padrão.

$$Y \in \{1, \dots, Y\} \quad (2.8)$$

Seja a equação 2.9 um novo padrão, ainda não classificado. Com a finalidade de classificá-lo, calculam-se as distâncias através de uma medida de similaridade entre  $Z$  e todos os exemplos do conjunto de treinamento e consideram-se os  $K$  exemplos mais próximos, ou seja com menor distância em relação a  $Z$ . Em seguida é verificado qual classe aparece com mais frequência, entre os  $K$  vizinhos encontrados. O padrão  $Z$  será classificado de acordo com a classe  $Y$  mais frequente entre os  $K$  padrões encontrados [Quinlan, 1996]. Para se calcular a distância entre os dois padrões, efetua-se o cálculo utilizando como medida de similaridade a distância Euclidiana [Khan et al., 2002], definida na equação 2.10.

$$Z = \{Z_1, \dots, Z_k\} \quad (2.9)$$

$$d(Z, X) = \sqrt{\sum_{i=1}^k (z_i - x_i)^2} \quad (2.10)$$

Podem ser facilmente encontradas na literatura duas regras mais utilizadas na classificação realizada pelo  $k$ -NN, sendo a regra de maioria na votação, onde não existe um peso em sua definição e um refinamento desta, utilizando o peso da distância.

### **Regra de classificação $k$ -NN - Aprendizado por maioria na votação**

Esta regra atribui uma classe observada em maior quantidade entre os  $k$ -NN a uma instância em questão. A figura 2.3 apresenta um 3-NN classificando um valor  $V$  com o uso da regra da maioria de votação entre duas classes  $Z$  e  $P$  definindo que o mesmo pertence a classe  $Z$ .

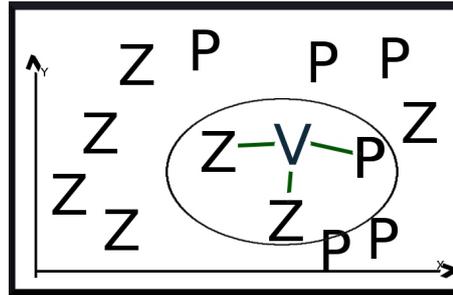


Figura 2.3: Modelo gráfico de 3-NN num espaço bidimensional.

### Regra de classificação k-NN - Utilizando o peso da distância

A regra de votação pela maioria na votação não se apresenta como mais robusta para o caso de definição de vizinhos, uma vez que somente considera as classes do k-NN sem avaliar a proximidade de outros elementos que podem estar ainda mais próximos na instância investigada [Jiang et al., 2007]. A utilização de um peso para a distância, tomando-se por base uma média ponderada, atribui a cada um dos k-NN um peso proporcional a sua distância, onde o peso do elemento mais próximo é  $w_1 = 1$  e do elemento mais distante é  $w_k = 0$ . Os pesos dos outros k-NN de um padrão  $V$  podem ser calculados pela fórmula 2.11.

$$w_i = \frac{d(x_k, V) - d(x_i, V)}{d(x_k, V) - d(x_1, V)} \quad (2.11)$$

Onde  $x$  índice  $k$  é o elemento mais distante de  $V$  dentre os k-NN e  $x$  índice  $1$  é o elemento mais próximo, e onde  $x$  índice  $i$  é um dos k-NN de  $V$ , e  $d(x, V)$  é a distância entre  $x$  e  $V$ .

Em cada uma das classes existentes, é atribuída a soma de pesos  $w$  índice  $i$  para todo  $x$  índice  $i$  que pertence àquela classe. A classe que possuir a maior soma de pesos será a classe atribuída ao padrão  $V$ .

## 2.4 Redes Autônomicas (Teoria Geral)

Atualmente, diversos avanços da ciência e tecnologia podem ser facilmente verificados através de feitos grandiosos realizados pelo homem. Desde o telescópio que proporciona um entendimento mais profundo da astronomia, aos satélites que vieram possibilitar examinar toda a superfície terrestre, expandindo horizontes e abrindo caminhos através da percepção e mensuração. Atualmente, o homem se tornou capaz de utilizar os computadores para visualizar, através de simulações matemáticas, inúmeros fenômenos físicos que antes eram impossíveis de serem observados através de meios empíricos.

Em meio a estes acontecimentos, temos o aparecimento de uma maior necessidade da troca de informações e disponibilização de dados relevantes a pesquisas cada vez maior [Estrin et al., 2002]. Com o aparecimento da internet isto vem sendo disponibilizado a um número cada vez maior de pessoas. Com o aparecimento de dispositivos móveis e aumento de pessoas que utilizam estes dispositivos, vem surgindo uma nova necessidade que é a de mobilidade e conectividade. Surgem então as redes sem fio disponibilizando este acesso, contudo, na forma como inicialmente projetada, ocorre a limitação da área de mobilidade. De forma

a atender uma expansão das redes sem fio, surge o modelo de redes *mesh* que apresenta uma conectorização de diversos pontos de acesso, fazendo com que estes dispositivos operem como uma rede única. Com o crescimento destas redes, um problema vem se tornando cada vez mais frequente: o gerenciamento e roteamento destes equipamentos. Na tentativa de eliminar este problema, surge a proposta de utilização de princípios autônômicos utilizados no modelo de rede autônômica [White et al., 2004].

Segundo [van der Meer et al., 2007], não existe uma definição do que é gerenciamento autônômico. Embora existam numerosos documentos de reflexão e tutoriais sobre computação de rede autônômica, há ainda uma falta de orientação sobre o modo de definir e implementar sistemas de comunicação autônômico [van der Meer et al., 2007]. Pode-se citar como um documento de referência chave o [Balasubramaniam et al., 2006]. O impacto acadêmico desta falta de orientação faz com que se tornem difíceis para os pesquisadores conduzirem suas pesquisas individuais.

A intenção apresentada em [van der Meer et al., 2007] não tem foco na implementação, mas na definição teórica e especificações que podem ser publicadas e discutidas com pesquisadores através de comunidades de pesquisa existentes. São salientados os pontos de computação autônômica e seu gerenciamento e a visão de gerenciamento de redes autônômicas. Atualmente, redes sem fio vem sendo utilizadas para prover acesso às redes universitárias para estudantes. Existem diversos protótipos de redes *mesh* ao redor do mundo, como o Roof-Net no MIT [Couto et al., 2005] e Microsoft Mesh [Draves et al., 2004a] [Draves et al., 2004b]. Além das produções acadêmicas, soluções comerciais já aparecem no mercado, como da Nortel [S., 2004] e da Cisco [CIS, 2006]. Em [Bash et al., 2007], é desenvolvido um estudo de caso para implementação de uma estrutura de rede autônômica *mesh* onde a proposta é de uma rede onde os usuários finais podem entrar na rede (*mesh*) sem necessidade de nenhuma configuração, tornando-se capazes de expandir a rede simplesmente adicionando mais roteadores sem necessidade de configurá-los. Eles seriam capazes de instantaneamente utilizar os serviços de rede. Nas ferramentas autônômicas, estão incluídos a autoconfiguração dinâmica de endereços de IP, IP das subredes, tabelas de roteamento e servidores de resolução de nomes.

A ocorrência do aumento na demanda por sistemas mais rápidos, potentes e com maior capacidade de armazenamento e comunicação, geram uma demanda por uma estrutura maior e mais elaborada com um gerenciamento e controle mais eficazes. A dificuldade deste gerenciamento aliado ao aumento da complexidade, faz parte do processo de crescimento das redes. A medida que a computação evolui, a sobreposição de conexões, dependências e interações entre aplicações necessitará que decisões sejam tomadas e respostas sejam dadas em uma velocidade acima da capacidade humana. Isto vem a justificar a necessidade da existência do modelo de redes autônômicas, modelo este que vem tendo uma elevação do número de pesquisas relativas a seu funcionamento e implementação. Redes autônômicas provém da idéia da computação autônômica, ou seja, ambas advindas do sistema neurológico humano, com 4 propriedades básicas: auto-configuração, auto-otimização, auto-cura e auto-proteção. Além destas 4 propriedades básicas, para que uma rede seja autônômica, deve possuir os 8 elementos chave indispensáveis segundo [White et al., 2004]:

- Para ser autônômico um sistema precisa se conhecer e ser formado por componentes que também possuem uma identidade no sistema;
- Uma rede autônômica deve se configurar e reconfigurar sobre condições variáveis e imprevisíveis;

- As redes autonômicas devem sempre procurar maneiras de otimizar seus trabalhos;
- Uma rede autonômica deve executar algo similar a uma cura: deve ser capaz de superar eventos extraordinários que possam causar mal funcionamento de algumas de suas partes;
- Uma rede autonômica deve ser especialista em auto-proteção;
- Redes autonômicas devem conhecer seus ambientes e o contexto que cerca suas atividades, agindo de acordo com este;
- Uma rede autonômica não pode existir em um ambiente isolado;
- Uma rede autonômica deve antecipar os recursos para otimização necessários, enquanto mantém sua complexidade escondida.

Um exemplo considerável para aplicação de redes autonômicas se encontra nas redes *wireless mesh* que utilizam o padrão de redes sem fio 802.11 para conectar roteadores mesh como apresentado em [Nassiri et al., 2007], pois se faz necessária uma arquitetura em que os roteadores utilizem diversos canais de rádio para se comunicarem evitando ocorrência de quedas de performance por interferência. Como solução para isso, [Nassiri et al., 2007] apresenta um mecanismo baseado em uma molécula, exemplificando com dois átomos que compartilham dois elétrons, onde os átomos representam roteadores e os elétrons a comunicação entre eles.

Em outro exemplo apresentado em [Schuetz et al., 2007] demonstra outra necessidade em redes *wireless* 802.11, evidenciando as vantagens em ter um gerenciamento de acesso descentralizado autonômico que apresenta aplicações com propriedades autonômicas e comportamentos adaptativos, pesquisa e operações automáticas e configurações descentralizadas.

### 2.4.1 Elementos Autonômicos - Funcionamento

Existem definições [Braga et al., 2006] que apresentam redes autonômicas como redes que controlam e supervisionam a si próprias sem intervenção humana direta, contudo existem definições que descrevem redes autonômicas como redes com elementos capazes de gerenciar a si próprios com pouca ou nenhuma intervenção humana.

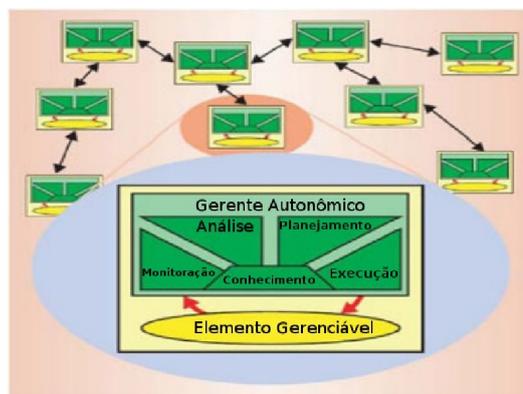


Figura 2.4: Estrutura Interna de um Elemento Autonômico [Kephart et al., 2003].

Um elemento autônômico constitui a menor parte de um sistema autônômico, apresentando-se como sistemas individuais. Elementos autônômicos provêm serviços para humanos e/ou outros elementos autônômicos (EA's), sendo que cada componente de uma rede autônômica é capaz de se monitorar e controlar, possuindo um EA embutido responsável por implementar serviços e funções de gerenciamento. Na figura 2.4 podemos ver a estrutura interna de um Elemento Autônômico assim como a comunicação entre eles.

Relacionado a funções, cada um dos serviços do laço de controle contínuo de um EA, sua base de conhecimento, as etapas presentes em seu ciclo de vida e a forma como elas são executadas, bem como o modelo de relacionamentos entre EAs de uma rede autônômica, devem ser definidos de forma específica particularizando cada tecnologia e tipo de rede, definidas por [Kephart et al., 2005] como um dos principais e fundamentais desafios de pesquisa ligados a área de computação autônômica.

Outro modelo de Elemento Autônômico é descrito em [Keeney et al., 2005], o qual utiliza regras em um modelo comportamental que analisam eventos, condições e ações determinando o assim o comportamento do serviço.

## 2.4.2 Auto-configuração de Serviços

Serviços autônômicos vem se tornando cada vez mais necessários em todos os tipos de ambientes de rede. Descobrimto de serviços de rede é um significativo aspecto atual em infraestrutura de rede. Atualmente, em ambientes de rede, as informações de configuração de serviços de rede estão dispersas entre o repositório de variedade de informações e a relação entre o armazenamento e consumo da configuração da informação, que é muitas vezes gerida por programas, procedimentos ou protocolos especialmente desenvolvidos para ambientes específicos manualmente [Melcher and Mitchell, 2004].

Existe uma necessidade pela auto-configuração: Automatizar o gerenciamento das configurações dos serviços de rede vem se tornando cada vez mais uma exigência de todo o espectro de redes de computadores [Melcher and Mitchell, 2004].

## 2.4.3 Soluções e Metas com Serviços

Entre as necessidades que surgem com o crescimento das redes, encontramos a necessidade de desmembrar a rede em serviços para que através da implementação de cada um deles utilizando elementos autônômicos, seja alcançado o objetivo final que é o de atender aos requisitos de uma rede autônômica.

As metas, soluções ou considerações e demandas por auto-configuração de serviços de rede são apresentados em 4 ambientes de rede:

- Redes corporativas de TI.
- Redes *wireless* com dispositivos em *roaming*.
- Redes domésticas conectadas a internet.
- Redes isoladas LAN.

Todas estas redes apresentam seu núcleo de atividade nas definições de políticas iniciais, onde o sistema incrementa automaticamente estas políticas eliminando o fator de erro

humano com configurações manuais. Uma ampla gama de serviços de rede pode ser considerada para este problema de erro humano a ser abrangido pelos serviços de redes autônomicas:

- Mais próximo servidor de proxy (*Nearest proxy server*)
- Mais próxima impressora (*Nearest printer*)
- Servidor NTP, similar ao mais próximo proxy (*NTP Server*)
- Servidor de encaminhamento de email (*Mail relay server*)
- Servidor de email (*Mail server*)
- Servidor de autenticação (*Logging server*)
- Mais próximo servidor de distribuição de caminho (*Nearest patch distribution server*)
- Mais próximo servidor de autenticação (*Nearest user authentication server*).

A funcionalidade de auto-configuração pode ser implementada em uma variedade de métodos. Contudo, sua aplicabilidade torna-se mais emergencial nos serviços de informações de rede como DNS, DHCP, NIS (*Network Information Service*) ou ainda SLP (*Service Location Protocol*).

#### **2.4.4 Computação Autônômica**

Existe um paradigma muito amplo que enfatiza fortemente a computação autônômica. Este paradigma define a capacidade de auto-gerenciamento em diversos modelos de sistema operacional. Contudo, os equipamentos e ambientes computacionais não encontram-se mais isolados, não sendo mais possível focar somente partes de um sistema como simples unidades de *hardware* ou *software* ou ainda como um conjunto de componentes. Desta forma, surge a necessidade de que a rede que estabeleça comunicação entre os componentes ou sistemas e também implemente os aspectos da computação autônômica.

Partindo deste princípio, é possível visualizar a rede e seus elementos como sistemas computacionais autônomos ou redes autônomas em um cenário tecnológico em crescimento contínuo. Estas redes necessitam possuir a capacidade de diagnosticar e localizar falhas em sua estrutura e agir sobre elas de forma que possam ser eliminadas ou isoladas, evitando impactos consideráveis à sua atuação. Em relação a utilização do paradigma de redes autônomicas no desenvolvimento de soluções para redes tradicionais, existem alguns artigos disponíveis que tratam do desenvolvimento de técnicas e algoritmos para auto organização [Eymann et al., 2003], auto configuração e distribuição e reforço de aprendizado [Littman et al., 2004].

#### **2.4.5 Principais Aspectos de um Sistema Auto-Gerenciável**

Os serviços de uma rede autônômica caracterizam-se por auto-configuração, auto-otimização, auto-proteção e auto-cura exibidos na figura 2.5 [White et al., 2004]. Inicialmente, os sistemas autônomicos deverão tratá-los separadamente, com soluções e grupos de trabalho distintos. Futuramente, a divisão entre esses aspectos tenderá a desaparecer, e eles farão parte de uma arquitetura geral de auto-gerenciamento.



Figura 2.5: Propriedades básicas de um sistema autônomo.

Um modelo de uma estrutura de serviços autônomos apresentando o descobrimento de serviços, a auto-associação e auto-organização dos nós de uma rede com aplicações, com utilização de EA's baseado nos princípios de redes autônomas é descrito em [Hossmann et al., 2008]. Os princípios de rede autônoma são apresentados em [White et al., 2004] e descritos nas sessões 2.4.6, 2.4.7, 2.4.8 e 2.4.9.

#### 2.4.6 Princípio de Auto-Configuração

Desde a instalação, integração e configuração de sistemas de rede complexos, todas devem ser feitas de maneira eficiente e à prova de erros, já que a configuração correta de um sistema é vital para seu bom funcionamento. O administrador de rede deverá introduzir políticas a serem seguidas, especificando, por exemplo, as diretrizes e objetivos específicos do negócio [White et al., 2004].

#### 2.4.7 Princípio de Auto-Otimização

Inúmeras aplicações necessitam que parâmetros sejam ajustados frequentemente para que o sistema opere da melhor maneira possível. Na maioria dos casos, existem poucas pessoas, especializadas, que sabem ajustar tais parâmetros de maneira correta. Além disso, os sistemas de rede estão integrados com outros sistemas igualmente complexos, e alterações em um sistema podem levar a resultados catastróficos nos demais. Assim, uma rede autônoma deve aprender a se otimizar e a selecionar quais parâmetros levam a seu melhor funcionamento. Além disso, a busca de estratégias ótimas para a atualização e modificação do sistema deve ser feita de maneira pró-ativa [White et al., 2004].

#### 2.4.8 Princípio de Auto-Cura

Diversos desenvolvedores da área de TI investem na busca pelas principais causas das falhas ocorridas nos sistemas computacionais. Particularmente em redes, podem-se levar meses para detectar e corrigir um erro. Sistemas autônomos seriam capazes de identificar, diagnosticar e reparar problemas gerados por *bugs* ou falhas no sistema. Um exemplo é a possibilidade de utilizar um sistema Bayesiano<sup>2</sup> para a análise das informações obtidas a partir de arquivos de

<sup>2</sup>Sistemas Especialistas Bayesianos utilizam-se do Teorema de Bayes para a formalização do conhecimento adquirido a partir de regras. Segundo Koehler [STEIN, 2000] um sistema especialista é uma aplicação da área de

*log*, da configuração atual da rede e de sistemas de monitoramento diversos. Esse sistema poderia posteriormente comparar o diagnóstico com *patches* de correção existentes, e instalá-los automaticamente [White et al., 2004].

## 2.4.9 Princípio de Auto-Proteção

Atualmente, mesmo com *firewalls* e sistemas de detecção de intrusos, a decisão sobre como se proteger de ataques fica a cargo de administradores de rede. As redes autônomas terão como objetivo a proteção do sistema como um todo. Elas poderão antecipar problemas, baseando-se em relatórios gerados por sensores, e realizar ações que minimizem os efeitos dos problemas surgidos [White et al., 2004].

## 2.4.10 Portabilidade

No documento de [Katsuno et al., 2005] é apresentada uma proposta de tecnologia de configuração de rede autônoma que utiliza a tecnologia autônoma para configurar a rede para aparelhos eletrônicos de utilização pessoal para melhorar a utilização e a segurança. A finalidade principal é a portabilidade destes aparelhos de maneira que as pessoas possam transportá-los de uma maneira prática e com a garantia de que este, irá se auto-configurar em qualquer ambiente em que seja conectado. A figura 2.6 apresenta o equipamento com o *Core* que deve ser utilizado para transporte pessoal e o *Cradle* que é a base para conexão em qualquer ambiente em que se encontre disponível.

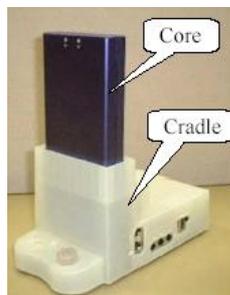


Figura 2.6: Aparelho Digital de Rede [Katsuno et al., 2005].

Através deste trabalho, observou-se uma evolução em relação a tecnologia de configuração de rede autônoma devido a implementação em equipamento de portabilidade, com descobrimento de ambiente para ativação de funcionalidades. Além disso, através deste trabalho, concluiu-se a necessidade da existência da portabilidade como um fator fundamental em uma rede autônoma, tendo como foco principal a autoconfiguração e reconfiguração.

---

IA que toma as decisões ou soluciona problemas em um domínio de aplicação, pelo uso do conhecimento e regras definidas por especialistas neste domínio". Já um sistema especialista Bayesiano, ainda de acordo Koehler Koehler [STEIN, 2000], "é composto basicamente pelas características citadas acima e tem em sua base de conhecimentos uma distribuição de probabilidades. A base desta distribuição deverá envolver um conjunto de variáveis discretas com atributos. Entre as variáveis serão necessárias relações de dependência estocásticas, que podem ser especificadas por fatos e/ou regras"

## 2.5 Voz sobre IP (VoIP)

Existem inúmeras tecnologias que possibilitam a transmissão da voz humana através de redes de comutação de pacotes, a exemplo da internet. Ao conjunto destas tecnologias é dado o nome de VoIP. Entre as vantagens oferecidas pela tecnologia VoIP, podem ser ressaltadas as transmissões de voz e dados como no caso de vídeo chamadas [BAI, 2006].

Para se obter uma comunicação de forma a agradar aos que utilizam este tipo de tecnologia, fatores como *jitter* ou variação de atraso; *delay* ou atraso; vazão; bloqueio ou perda de pacotes [TANEMBAUM, 2003], necessitam ser avaliados pois influenciam diretamente na qualidade dos serviços. Cada chamada VoIP necessita de um tamanho mínimo de banda disponível caso contrário, os pacotes transmitidos poderão sofrer atraso no envio ou mesmo descartes [KUROSE, 2006]. A quantidade de banda necessária depende do *Codec* utilizado para a codificação da voz que pode ser visualizado na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Comparativo da necessidade de banda por Codec

Codec	Largura de Banda
G.711	64 Kbps
G.723	6,3 Kbps
G.729	11,8 Kbps
GSM	13 Kbps

O atraso ou *delay*, apresenta o tempo em que um pacote leva para trafegar pela rede saindo do emissor até o receptor. Existem diversos fatores que afetam diretamente o atraso, como tempo de transmissão, de processamento, tempo de propagação nos enlaces e formação de fila nos roteadores [KUROSE, 2006] onde a recomendação G.114 da ITU-T (*International Telecommunications Union - Telecommunications*) determina em 0 ms a 150 ms como aceitável para a maioria das aplicações dos usuários; de 150 ms a 400 ms como aceitável para conexões internacionais; e atrasos maiores que 400 ms como inaceitáveis para uso normal; ainda que sejam reconhecidos em alguns casos excepcionais onde este limite será excedido.

O *jitter* ou variação do atraso, ocorre devido as diversas variações de fluxos de dados existentes paralelamente através dos roteadores. Isto causa prejuízos nas comunicações devido às oscilações na frequência de chegada dos pacotes nos destinatários. Para diminuir esta variação, é utilizado um *buffer* ou fila de dados para serem armazenados os pacotes de dados e entregues na sequência correta. Contudo, o tempo em que os pacotes permanecem na fila, pode atenuar o atraso. O DSL Forum, 2006, a variação máxima do atraso aceitável é de 50ms.

Em uma transmissão de dados podem ocorrer perdas de pacotes, pois podem existir falhas no meio de transmissão como queda em um enlace de transmissão ou sobrecarga de fila. Os valores aceitáveis para tráfego VoIP, variam conforme o *codec* utilizado. A tabela 2.2 apresenta as taxas de perda de pacotes aceitáveis para cada codec.

Tabela 2.2: Taxas aceitáveis para perda de pacotes

Codec	Alta qualidade	Baixa qualidade
G.711	0,5 %	1,0 %
G.723	0,0 %	1,0 %
G.729	0,0 %	2,1 %
GSM	-	2,0 %

Segundo [Wang et al., 2005], a capacidade máxima de transmissão de chamadas VoIP é de 60,5 quando utilizando 802.11g-only (54 Mbps) e de 11,2 para 802.11b (11 Mbps).

## 2.6 Trabalhos Relacionados

Nesta seção, são apresentadas idéias correlatas nas quais estão fundamentados diversos trabalhos. Os trabalhos descritos possuem relação no uso de serviços de redes autônomicas em redes *mesh*. As idéias apresentadas nesses trabalhos irão servir de ponto inicial para a proposta aqui apresentada. Os trabalhos estão descritos apenas em linhas gerais, com foco em suas idéias com maior relevância para a estratégia proposta neste trabalho sendo detalhadas mais adiante no capítulo 3.

O documento principal para iniciar a fundamentação deste trabalho é o [Mitchell, 1997a] que apresenta um aprendizado baseado em instância. Possibilitando o desenvolvimento e aplicação de um elemento com utilização de técnicas refinadas do k-NN visto no capítulo 2.3.3 de peso da distância. O trabalho de [Zimmermann et al., 2006] também é fundamental para um modelo de gerenciamento autônomico, uma vez que apresenta um gerenciamento autônomico de uma rede *wireless* integrado ao monitoramento, com análise de dados em tempo real e tomada de decisões.

Outro documento importante é o [Bash et al., 2007], o qual apresenta um estudo realizado sobre MANET's (*Mobile ad-hoc Networks*) implementando roteamento quase estático, obtendo um sistema BaselMesh, que é o resultado da integração de um tipo de roteamento de MANET com um esquema de nomenclatura dinâmica e uma completa auto-configuração, sendo executado em roteadores de rede sem fio Linksys [Products, 2010]. Este resultado foi apresentado como uma implementação de rede de malha autônomico que permite usuários não especializados facilmente configurar uma rede *mesh* com muito pouca sobrecarga. Outro documento importante para a estrutura deste trabalho é [Lee et al., 2007], o qual apresenta uma reconfiguração de gerenciamento autônomico para redes sem fio heterogêneas. O documento apresenta uma arquitetura de rede que habilita serviços inteligentes para atender requisitos de QoS.

Em [Braga et al., 2006], é desenvolvido um modelo de Elemento Autônomico para redes de sensores sem fio, buscando um melhor gerenciamento sem intervenção humana. A conclusão do trabalho desenvolvido apresenta um procedimento de embutir serviços em uma RSSF (Rede de sensores sem fio) através do uso de ESA <sup>3</sup>. Além desses trabalhos, encontramos em [Chaudhry et al., 2005], um modelo de gerenciamento autônomico para redes u-Zone, que é um híbrido de rede *mesh* e MANET's. O documento descreve ainda, os cenários para visualizar a realização de operações de auto-gerenciamento em redes híbridas, acreditando na possibilidade de ajudar na realização de redes híbridas para prover um ambiente para redes espontâneas.

Outro documento importante para a elaboração dos parâmetros utilizados para as simulações é o [Cordeiro et al., 2007] o qual utiliza o protocolo OLSR em suas simulações em uma adaptação para o simulador NS-2.

---

<sup>3</sup>ESA, é uma extensão do esquema de agregação de segurança SDA (*Secure Data Aggregation*) onde os autores propõe o uso de chaves para a comunicação entre pares de nós vizinhos e chaves para pares de nós a dois saltos de distância. Eliminando a necessidade de armazenar dados para verificar a autenticidade com uma chave, além de permitir o uso de criptografia na comunicação entre os nós, garantindo a confidencialidade.[Margi et al., 2009]

## 2.7 Problemática

Um motivo pelo aumento das pesquisas em redes mesh, deve-se ao fato da ausência da necessidade de cabeamento entre os diversos pontos da rede, o que proporciona baixo custo e menor tempo para implementação. Os elementos da rede e suas rotas são descobertos através da troca de informações entre os nós, assim, a rede se configura automaticamente, proporcionando menor esforço de administração e manutenção da rede.

O encaminhamento dos dados através de múltiplos saltos sem perda relativa na força do sinal devido à série de pequenos saltos proporcionada por este modelo, é uma característica forte em mesh [Aoun et al., 2006], onde os nós intermediários além de regenerarem o sinal, tomam decisões de encaminhamento e roteamento de pacotes. Buscando implementar os protocolos de roteamento de rede no modelo mesh, como AODV (*ad-hoc On-Demand Distance Vector Routing*), OLSR (*Optimized Link State Routing*) e outros, diversas métricas estão sendo implementadas, como o ENT (*Effective Number of Transmissions*), que garante que a taxa de perda de pacotes fim-a-fim como vista pelas camadas superiores não exceda determinado limite especificado por elas [Koksal, 2006], e o mETX (*modified ETX*), que corrige os problemas de adaptação à alta variabilidade das condições dos enlaces de rádio do ETX (*Expected Transmission Count*) por considerar a variância da taxa de perdas além da média, usando métrica aditiva em enlaces sucessivos como no ETX [Koksal, 2006]. Ainda, a métrica ML (*Minimum Loss*) que tem base em probabilidades de sucesso na transmissão de pacotes no nível de enlace.

Para implementação em um cenário real, pode ser utilizado um *firmware* para os equipamentos de rede sem fio (*Wireless Mesh Routers*) denominado de OpenWrt [O, 2010]. O OpenWrt não é um simples e estático *firmware*, ao contrário, ele provê um sistema de arquivos com completa capacidade de escrita com gerenciamento de pacotes. Isto permite a personalização do equipamento atendendo as necessidades de utilização que se fizerem necessárias dentro da limitação do *hardware* de cada aparelho. O OpenWrt constitui um *framework* para construir aplicação sem a necessidade de construir um *firmware* completo em torno dele. Assim, existe a possibilidade de uma completa personalização de uso do dispositivo possibilitando implementar EA's para atuarem em cada dispositivo conforme apresentado em [OP., 2009].

Entre os protocolos de roteamentos em redes *mesh*, pode-se verificar a tendência a uma centralização do roteamento. Quando o custo de uma rota é definido através de um cálculo utilizando uma métrica de roteamento, o protocolo define então através de quais enlaces irá efetuar o roteamento de um pacote de dados. Isto pode ocasionar um congestionamento através de um ou mais enlaces na rede. Apesar desde possível congestionamento, podem existir enlaces não utilizados por possuírem um custo definido como superior ao da rota estabelecida. Este fato é melhor visualizado na seção 3.1, onde é explicado este cenário.

## 2.8 Conclusão do Capítulo

As redes autônomicas são descritas como aquelas capazes de gerenciar seus componentes e os enlaces entre eles com pouca ou nenhuma intervenção humana. Soluções de *hardware* e *software* ligadas a este paradigma estão em desenvolvimento pela comunidade científica. Todos os métodos atualmente existentes possuem limitações [Mortier and Kiciman, 2006]. O que se propõe não tem foco somente no desenvolvimento e implementação, mas em uma solução consistente que aumente a confiabilidade e performance reduzindo o custo de gerenciamento aplicando as premissas de um sistema autônomico nos serviços de rede através do uso

de melhor métrica. Desta forma, podendo implementar melhorias em mecanismos de descobrimento de rede, migração de dados e mecanismos de alerta, detectando sobrecarga de fila e redirecionando tráfego de rede através de enlaces periféricos.

## Capítulo 3

# Elemento Inteligente para Definição de Custo de Enlace

Atualmente podem ser encontradas diversas propostas de alterações de protocolos de roteamento objetivando a inclusão de métricas multidimensionais que avaliem a qualidade do enlace sem fio na seleção do melhor caminho. Contudo, pouco se produziu com utilização de elementos autonômicos. A proposta inicial está baseada em [Keeney et al., 2005], que apresenta uma semântica em um elemento autonômico descrito no capítulo 2. C Para que uma implantação de serviços de reconfiguração de ambiente, como visto em redes autonômicas, que se utilizam de auto-reconfiguração de rotas de forma inteligente, utilizando-se de enlaces de redes periféricos em uma estrutura de rede, deve ser observado o fator de direcionamento de tráfego, ou seja o fator da métrica utilizado pelo protocolo de roteamento na definição do custo de envio através de um enlace conforme apresentado no capítulo 2. Com isso, minimizar o bloqueio e aumentar a vazão do tráfego passante.

Este capítulo apresenta a arquitetura e a classificação de informações baseada em comportamento, o modelo de serviço de rede em que este trabalho opera, sua estrutura de funcionamento e a utilização de um coeficiente de memória relativo aos comportamentos anteriores de um enlace, além do elemento autonômico que proporciona a arquitetura de rede autonômica proposta; objetivando assim explicitar o elemento autonômico implementado denominado TDE - *Traffic Definition Element*.

As seções 3.1 e 3.2 apresentam respectivamente o EA implementado, e a utilização de técnicas de inteligência artificial. A seção 3.3 apresenta a determinação de um coeficiente de memória para evitar instabilidades no comportamento da rede. Na seção 3.4, é demonstrada a forma de classificação das informações do ambiente de rede, determinando o tipo de situação em que o enlace se encontra.

Na seção 3.5 são apresentadas funcionalidades do EA um modelo de serviços para redes autonômicas sem fio em malha utilizando os princípios e ideias explicitadas no capítulo 2. A seção 3.6 descreve o funcionamento da estratégia utilizada de maneira geral. As seções 3.7 e 3.8 tratam de diversos aspectos desta estratégia.

### 3.1 Arquitetura Proposta

A arquitetura proposta de EA, implementa o conceito de aprendizado de máquina ao elemento proposto denominado de TDE (*Traffic Definition Element*). O TDE é responsável

pelo cálculo do custo do enlace, detectando possível queda na qualidade de transmissão, altas taxas de erros, além de sobrecarga na fila ("buffer") de transmissão, tornando-se objetivo deste trabalho o desenvolvimento de uma forma automática de aprendizado para classificar o valor do custo dos enlaces, antes definido através da utilização de uma métrica analítica.

O TDE foi elaborado com a finalidade de substituir a métrica analítica utilizada pelo protocolo de roteamento OLSR através da utilização de um método de aprendizagem com a função de atribuir um determinado custo a cada enlace e opera na definição deste custo para que o protocolo OLSR possa delinear suas atividades de elaboração de rotas, interagindo com o mesmo ao interferir diretamente na avaliação das condições de um enlace de rede forçando a uma redistribuição do tráfego de rede através de outros enlaces.

Para atribuição deste custo ou peso, o elemento proposto (*TDE*) analisa o tráfego de cada enlace e verifica a taxa de erros, qualidade do enlace, e ainda, o momento em que um enlace esteja com uma quantidade de tráfego em seu limiar, neste caso, o TDE aumenta o custo deste enlace na tentativa de baixar este tráfego, tornando menos atrativa para o protocolo a utilização deste. Esta ação é ilustrada pela figura 3.6. Quando o tráfego estiver reduzido o TDE deve analisar os fatores referentes a qualidade de transmissão e utilização de fila tornando a baixar o custo do enlace de forma a atrair o tráfego de outros enlaces que estejam sobrecarregados. Desta forma buscando de maneira inteligente o melhor custo de cada enlace. A figura 3.1 será utilizada para explicação conceitual do TDE.

Os fatores relativos a qualidade do enlace (*link*) direto, qualidade do enlace reverso, taxa de erros, e taxa de utilização de fila são utilizados como características para cálculo do custo do enlace, sendo ilustrados pela figura 3.2. O TDE atua de forma distribuída, ou seja em cada nó da rede é executada a definição do custo de seus enlaces diretamente conectados. Assim, o TDE atua de forma cooperativa, uma vez que cada custo definido por ele nos diferentes nós da rede, são utilizados pelo protocolo OLSR de forma pró-ativa para definição da melhor rota para encaminhamento do tráfego.

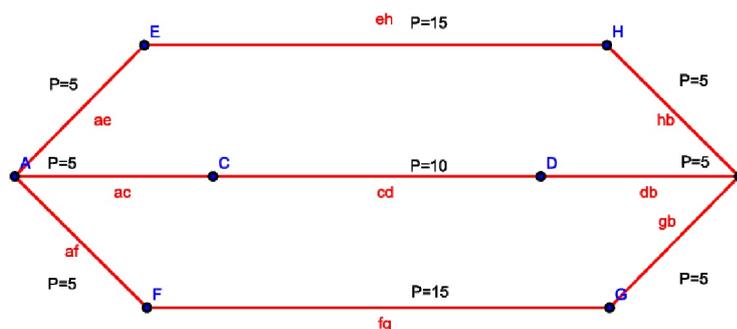


Figura 3.1: Exemplo de topologia de rede

A topologia exemplo, ilustrada pela figura 3.1 pode ser facilmente encontrada em redes *wireless mesh*. A topologia apresentada é composta por oito nós (A,B,C,D,E,F,G,H) e nove enlaces (ae, ac, af, eh, cd, fg, hb, db, gb). Onde o TDE irá atribuir pesos aos enlaces conforme o tráfego atual. Por exemplo: Em uma situação onde a rota seja definida através dos enlaces AC, CD, DB, por apresentarem um Peso (custo) menor, no momento em que se envia

um alto tráfego de pacotes de dados do nó A ao nó B, poderão ocorrer descarte de pacotes, enquanto que temos os enlaces AE, EH, HB e os enlaces AF, FG, GB sem utilização.

A TDE objetiva agir de maneira inteligente identificando a sobrecarga de um enlace e redirecionando o envio de pacotes através dos outros enlaces, assim o resultado obtido para o envio dos pacotes do nodo A para o nodo B teria um percentual de bloqueio reduzido e uma maior vazão através deste melhor uso dos enlaces. Para chegar a este resultado o TDE modifica os pesos dos enlaces, de forma a alterar o roteamento dos pacotes através dos demais enlaces, balanceando o envio dos pacotes através dos enlaces disponíveis.

A execução do TDE deve ser feita internamente no middleware <sup>1</sup> para seu funcionamento. O middleware utilizado é o próprio protocolo OLSR, onde o desenvolvimento do TDE será tratado através de um conjunto de funções em linguagem de programação C. Isto, devido ao código fonte do protocolo OLSR utilizado neste trabalho estar descrito nesta linguagem tanto originalmente para execução como para simulação em conjunto com a linguagem TCL <sup>2</sup>. O elemento aqui descrito utiliza um método de aprendizagem que é descrito na seção 3.2.

O funcionamento do TDE baseia-se na utilização de uma tabela inicial de aprendizado para o k-NN onde quatro características foram utilizadas, visualizadas na figura 3.2. As características são relativas a qualidade do link direto, qualidade do link reverso, taxa de erros e utilização de fila. A tabela foi gerada através de padrões que seriam fornecidos pelo cálculo tradicional da métrica ETX, sendo penalizados enlaces por aumento da taxa de erros através elevação do custo. Em caso do aumento excessivo do tráfego através de um enlace, o fator de fila proporciona um aumento ainda maior neste custo.

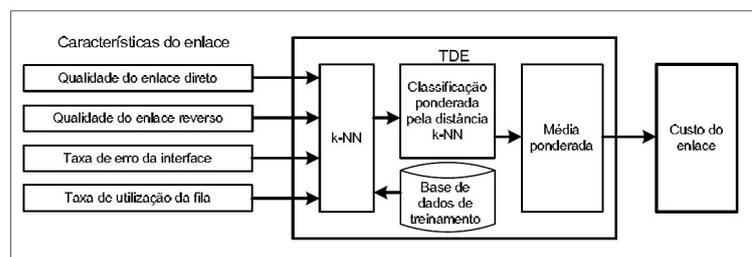


Figura 3.2: Características utilizadas pelo TDE para definição de custo de enlace.

Uma vez que o k-NN descrito no capítulo 2, com  $k=3$ , retorne os 3 elementos mais próximos do resultado desejado, é aplicada uma média ponderada pelo fator de distância de cada elemento, onde o elemento mais próximo recebe um peso maior e o mais distante menor, sendo considerado cada um de seus valores a serem retornados conforme visto anteriormente na seção 2.3.3.

<sup>1</sup>Middleware ou mediador, no campo de computação distribuída, é um programa de computador que faz a mediação entre outros softwares. É utilizado para mover informações entre programas ocultando do programador diferenças de protocolos de comunicação, plataformas e dependências do sistema operacional.[BAB, 2009]

<sup>2</sup>Tcl (pronunciado /tí.quel/, originado do acrônimo em idioma inglês [inglês]] "Tool Command Language" ou linguagem de ferramentas de comando, atualmente escreve-se como "Tcl" em lugar de "TCL"), é uma linguagem de script criado por John Ousterhout, que tem sido concebido com uma sintaxis singela para se facilitar sua aprendizagem, sem ir em desmedro da funcionalidade e expressividade. Utiliza-se principalmente para o desenvolvimento rápido de protótipos, aplicações "script", interfaces gráficas e provas. A combinação de Tcl com Tk (do inglês Tool Kit) é conhecida como Tcl/Tk, e se utiliza para a criação de interfaces gráficas.[TCL, 2010]

Por fim, o TDE aplica o percentual de memória considerando o valor de 10% do custo anterior como ponderador para definir o novo custo, por apresentar melhores resultados, como apresentado na seção 3.3, definindo assim o custo final de cada enlace.

Para a criação do modelo de redes real, onde os TDE possam operar, é necessária uma estrutura de redes sem fio com roteadores para estas redes, com capacidade de utilização do protocolo OLSR.

Para análise dos resultados, de maneira a otimizar as pesquisas, uma vez que uma implementação em cenário real tornaria mais morosa a análise dos resultados obtidos; foi executado o desenvolvimento proposto no simulador de redes ns-2<sup>3</sup>.

## 3.2 Metodologia de Aprendizado Utilizada

Existem diversas técnicas inteligentes aplicadas a inúmeros problemas de tomada de decisão com aprendizado já vistas no capítulo 2. Por isso foi necessário realizar um estudo para identificar qual a técnica mais adequada ao problema da definição de custo do enlace. De forma a definir a técnica do algoritmo inteligente a ser adotada, foi observado o contexto do ambiente a ser inserido. Através dos estudos realizados, constatou-se que as variações de tamanho de fila de dados nos equipamentos, juntamente com a qualidade do enlace direto e reverso, tráfego em bytes passante e taxa de erros no enlace, poderiam ser agrupadas em classes apresentadas na seção 3.4. Para utilização da metodologia no TDE foi utilizada a técnica do k-NN (K-Nearest Neighbors), descrita no capítulo 2 apresentando-se como a mais adequada para o estudo e foi utilizada para definição do custo do enlace a ser fornecido ao protocolo. Através dela pode-se utilizar um conjunto de regras [Mitchell, 1997b] para se definir a melhor aplicável para o estado avaliado.

## 3.3 Fator Ponderador de Coeficiente de Memória

Inicialmente este trabalho utilizou o TDE para definir o custo dos enlaces em uma rede sem fio em malha tornando possível ao protocolo de roteamento OLSR definir novas rotas periféricas ao detectar aumento excessivo de utilização de um determinado enlace. Para isto, o TDE executou a regra de classificação k-NN com k=3 para determinar a melhor definição deste custo.

Buscando uma melhoria dos resultados com maior estabilidade na determinação do custo, a regra de classificação k-NN foi aprimorada com o uso do peso da distância, explicitada no capítulo 2.3.3. Com isto, foi obtida uma redução na alternância de rotas através de um equilíbrio dos custos definidos pelo TDE na definição de enlaces.

Apesar da obtenção de resultados de melhoria de tráfego com aumento de vazão e diminuição de bloqueio, ao analisar o motivo de bloqueio, verificou-se que o bloqueio por sobrecarga de fila de transmissão ("*buffer*") diminuiu mas ainda era alto pelo motivo de não existirem rotas, uma vez que a rota teria um bloqueio por sobrecarga de fila e não existiam outras rotas disponíveis naquele momento.

---

<sup>3</sup>ns ou network simulator (também chamado de ns-2 em referência a sua geração) é um simulador de redes de computadores popular nos meios acadêmicos por ter o código fonte aberto. Muito usado em pesquisas sobre redes ad hoc, suporta os protocolos de rede mais populares tanto para redes cabeadas quanto as sem fio.[McCanne et al., 2010]

Analisando o comportamento do tráfego, verificou-se que em algumas situações a fila atingia sua capacidade total em poucos casos; contudo isto proporcionava o bloqueio deste enlace por um período muito prolongado. Uma forma de solucionar este problema poderia ser a análise comportamental deste enlace na tomada de uma decisão. Assim, o TDE avaliaria os custos anteriores e ponderaria na definição de um novo custo. Bastaria definir o quanto se levaria em conta, ou quanto é importante ponderar.

Como forma de implementar esta solução, foi utilizado um fator ponderador de coeficiente de memória denominado de  $\alpha$  que determina o valor percentual de ponderação do peso relativo ao comportamento das definições de custos deste enlace. Esta técnica segue os princípios apresentados em [Jensen et al., 2001].

A fórmula utilizada para determinar o custo é apresentada na equação 3.1, onde  $F$  é o valor do custo definido inicialmente,  $C$  representa o custo como resultado para o protocolo,  $FP$  como fator de ponderação inicializado com valor 0 (zero), e

$$\alpha$$

como coeficiente percentual da variação do custo.

$$FP = (FP * \alpha) + (1 - \alpha) * F \quad (3.1)$$

Calculado o fator de ponderação, o custo final do enlace é definido pela equação 3.2

$$C = FP \quad (3.2)$$

### 3.3.1 Determinação do coeficiente de memória

Para definição do melhor coeficiente foram realizadas simulações com intervalo de confiança de 90% utilizando o modelo apresentado na seção 4.1.2 onde foram observados os resultados relativos ao atraso na figura 3.3 onde a utilização do valor percentual de 10 apresentou uma redução em relação a não utilização de um fator  $\alpha$  com percentual igual a 0 e outros valores do coeficiente de variação.

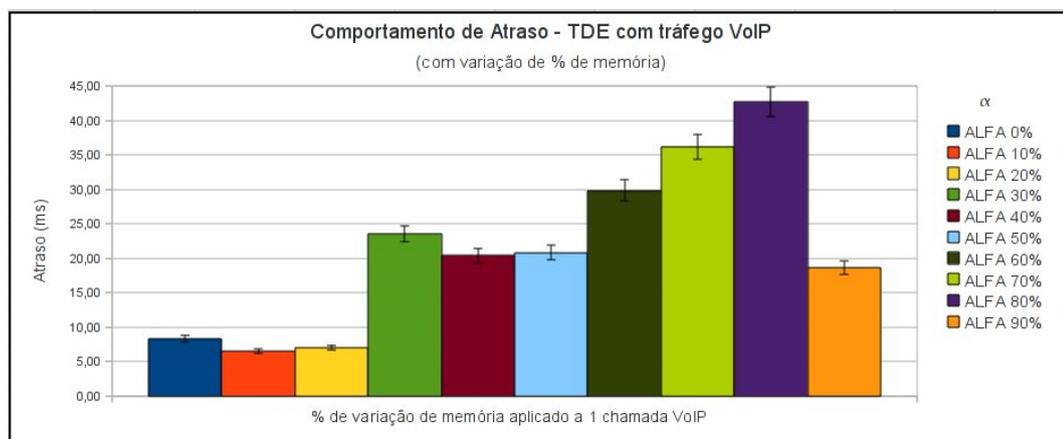


Figura 3.3: Média do atraso com 1 chamada de tráfego VoIP em diferentes coeficientes de memória

A figura 3.4 apresenta o resultado relativo a vazão do tráfego simulado onde o percentual de 10 apresentou uma maior vazão em relação a outros valores de coeficiente de memória.

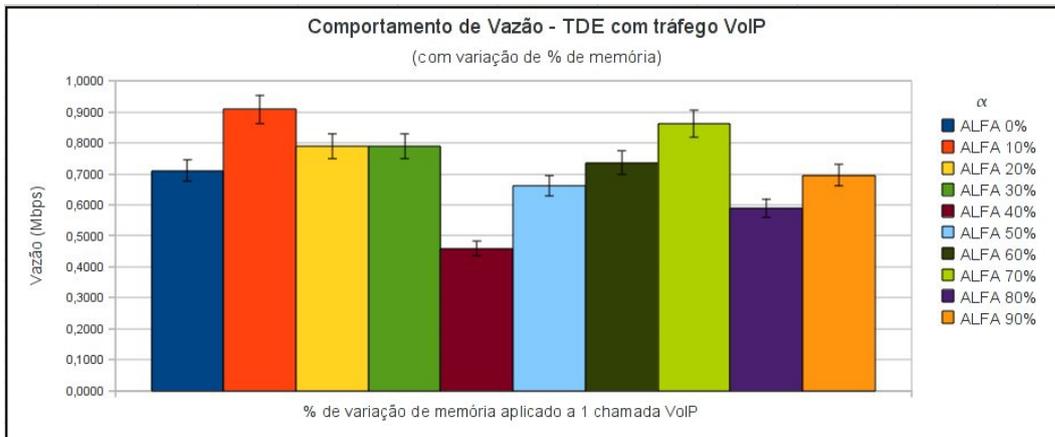


Figura 3.4: Média da vazão com 1 chamada de tráfego VoIP em diferentes coeficientes de memória

O bloqueio ou perda de pacotes, sofreu uma redução na utilização do percentual de 10 na definição do coeficiente de memória, que pode ser visualizado na figura 3.5.

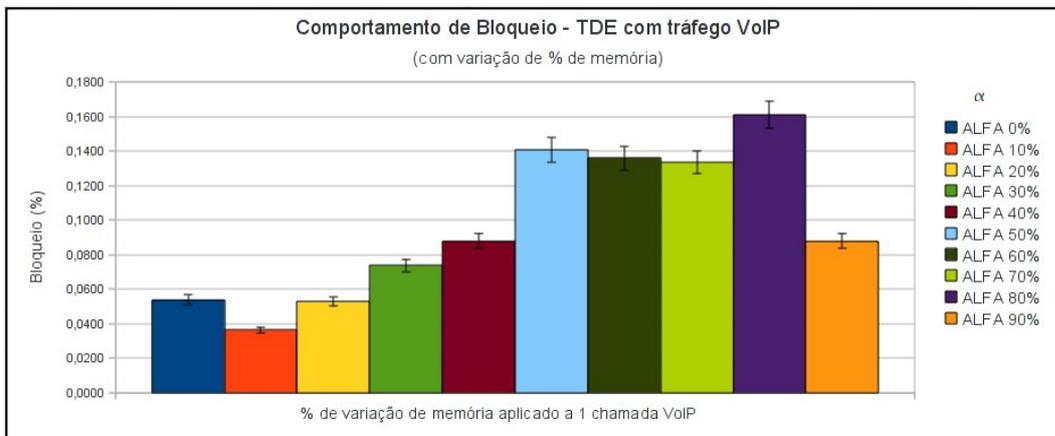


Figura 3.5: Média de bloqueio com 1 chamada de tráfego VoIP em diferentes coeficientes de memória

### 3.4 Classificação dos Tipos de Informação

O foco principal para classificação dos tipos de informação é a utilização de uma técnica de inteligência artificial para definir o custo de um enlace, uma vez que o protocolo utiliza este custo para definição da rota, devendo então balancear o tráfego entre as rotas existentes, eliminando possíveis congestionamentos de uma rede. Portanto, o que se objetivou foi o desenvolvimento de um serviço inteligente baseado no algoritmo de classificação k-NN, com a finalidade de auxiliar na definição de custos de enlaces ao protocolo OLSR no modelo de

um EA, distribuindo o tráfego de rede por diversos enlaces, através da classificação do tipo de informação.

As informações disponíveis em um AP (*Access Point*), considerado como um nó da rede, são referentes a variações de tamanho de fila de dados nos equipamentos, tamanho de banda disponível, tráfego em *bytes* passante, qualidade do enlace direto, através da análise de pacotes perdidos, qualidade do enlace reverso informado pelos outros nós da rede e taxa de erros no enlace. Estas informações observadas, podem ser utilizadas e classificadas, organizando-as basicamente em quatro classes:

- Comportamento Irregular: classe que deve conter todos os problemas proporcionados ao comportamento do tráfego passante durante um determinado evento, como por exemplo uma elevada taxa de erros no enlace.
- Parada Funcional: esta classe corresponde à situação em que o nó, quando sujeito a um determinado evento, interrompe seu funcionamento, como por exemplo no caso de uma queda de energia de sustentação do equipamento.
- Tráfego Irregular: Nesta classe deve ser incluído um aumento excessivo ou queda exagerada no tráfego passante, entre outros que poderão aparecer.
- Sem Alteração: Esta é a situação em que mesmo sujeito a um evento, o estado atual não vem a ser prejudicado.

A figura 3.6 ilustra o funcionamento do TDE através do comportamento do fluxo dos pacotes transmitidos, onde para cada classe apresentada, um comportamento em relação ao custo de um enlace é realizado. Quando o comportamento não sofre alteração, o custo deve manter-se estável, na ocorrência de parada funcional, o custo é elevado a situação de bloqueio onde o custo efetivo do enlace desabilita a rota para fins de transmissão de dados. Na ocorrência de uma situação irregular, ocorrendo um comportamento irregular com aumento da taxa de erros, o custo será elevado pelo TDE, para tornar menos atrativo o enlace de dados, na tentativa de reduzir a perda de pacotes. Se houver tráfego irregular com baixa utilização do enlace, o custo será reduzido para que seja mais atrativo o encaminhamento de pacotes através deste enlace; ocorrendo aumento excessivo de tráfego, o custo será elevado de forma a proporcionar o enlace menos atrativo para encaminhamento de pacotes, possibilitando utilização de outros enlaces periféricos.

O TDE proposto neste trabalho tem sua atuação baseada nos dados contidos no próprio equipamento (AP), repassando ao protocolo o custo de seu enlace, obtendo sucesso no equilíbrio da distribuição de rotas com o uso do protocolo OLSR. O modelo escolhido para tomada de decisão de forma a auxiliar na definição do custo de um enlace, tem sua principal funcionalidade baseada na análise e adoção de padrão de comportamento. Por isso, neste trabalho o método adotado para criação de um elemento autônomo foi o k-NN.

### **3.5 Funcionalidades do TDE no Modelo de Serviços da Rede**

O objetivo da utilização de um modelo de serviços da rede neste trabalho, se dá pelo estudo do problema de gerenciamento em Redes Autônomicas sem fio em malha através de seu roteamento. Este modelo visa buscar um melhor entendimento das necessidades, requisitos e

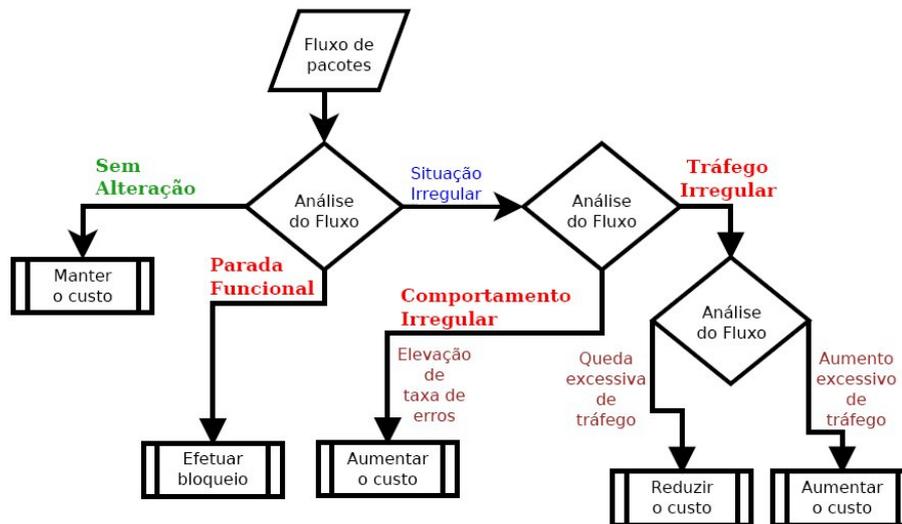


Figura 3.6: Comportamento do TDE por classe

questões relacionadas ao tema além de identificar as diferenças em relação ao gerenciamento de outras redes. O modelo de serviços observado neste trabalho foi o dos serviços executados pelo protocolo de roteamento OLSR.

O gerenciamento de sistemas de computação e comunicação vem se baseando em tarefas humanas como auto-gerenciamento, que somente se tornam adequadas se forem controladas ou gerenciadas de uma forma compreensível para um controle humano. Sistemas de comunicação autonômicas são redes adaptativas, onde o comportamento adaptativo de cada rede é gerenciada por objetivos específicos humanos e regras de como os serviços providos pela rede deveriam se comportar [Keeney et al., 2005].

Com base nesta visão de gerenciamento, existem dentro do modelo de serviços, as funcionalidades de *mapeamentos dinâmicos das metas de gerenciamento humano*, para impor políticas através de um sistema que contenha elementos adaptativos de rede com reação a mudanças de contexto.

Estas funcionalidades com elementos adaptativos são capazes de armazenar informações e efetuar análise destas informações com tomada de decisão, proporcionando a um nó da rede alterar as características padrões de serviços de rede, com alteração do roteamento.

### 3.5.1 Descrição das funcionalidades

Seguindo o modelo de redes autonômicas as funcionalidades buscam seguir os princípios adotados por este tipo de redes.

**Análise de tráfego** Através da obtenção das informações de tráfego são analisadas as características explanadas na seção 3.1 e ilustradas pela figura 3.2. Com isso, os dados são enviados para a classificação destas informações.

**Classificação da informação** Através do uso do k-NN com  $k=3$ , é efetuada a busca pelos  $k$  resultados melhores e suas respectivas distâncias na tabela de aprendizado. Em seguida estes resultados são encaminhados a uma chamada de função para cálculo do peso da distância apresentado no capítulo 2.

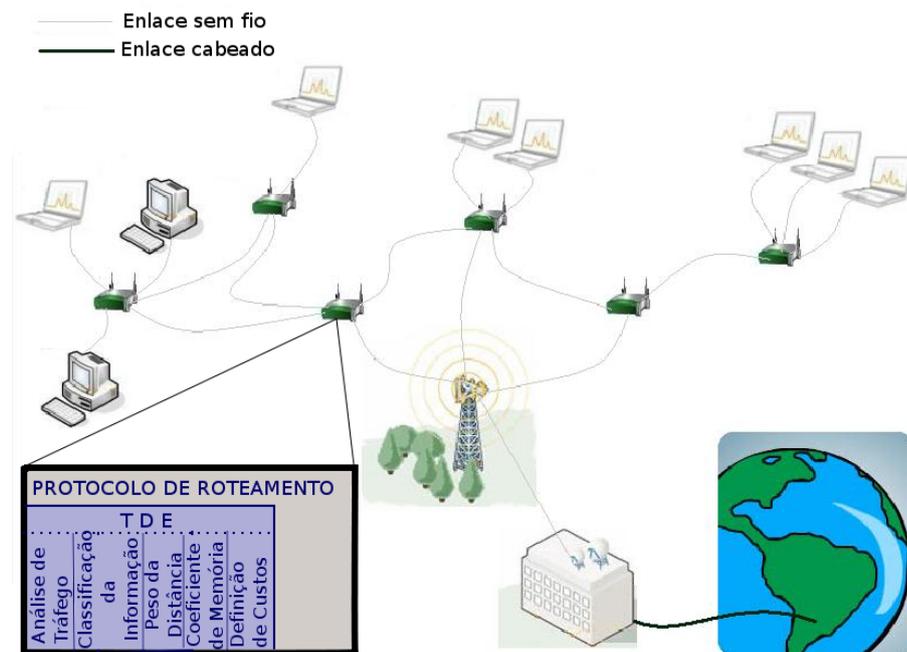


Figura 3.7: Funcionalidades do TDE no Modelo de Serviços em Rede Mesh

**Peso da distância** Com esta funcionalidade, o esperado foi reduzir a variação do resultado apresentado como custo de transmissão através do enlace. Assim, apresentar um resultado ponderado.

**Coeficiente de memória** Esta funcionalidade visa minimizar a instabilidade na definição das rotas, observando as variações dos custos anteriores para definição do custo final.

**Definição de custos** A funcionalidade de definição de custos resgata o valor do custo definido pelas funcionalidades descritas e retorna para o protocolo (OLSR) seu resultado.

As funcionalidades do TDE proporcionam uma estrutura de redes que apresentam melhor desempenho pela inteligência desenvolvida nos diversos pontos de acesso sem fio da rede (AP's). Além de manterem a conectividade de todos os equipamentos ligados a eles em uma mesma rede. Com isso, é garantida a interconexão através de serviços de análise de classes apresentado em 3.4, e na figura 3.7 que apresenta as características. Através da figura 3.7, é verificada a utilização do TDE em cada AP, sendo este, capaz de detectar anomalias e sobrecarga em seu fluxo de pacotes, redirecionando este fluxo para outros enlaces com menores custos que apresentem menores taxas de erros e menores tráfegos.

Com estas funcionalidades o TDE visa implementar o modelo de rede autônoma atentando a implementação dos princípios autônomicos:

**Auto-Configuração** Com instalação, integração e configuração de custos iniciais dos enlaces com uso de políticas a serem seguidas, onde são especificadas, as diretrizes e objetivos específicos definidas na tabela de aprendizado.

**Auto-Otimização** Ajustando parâmetros para que a transmissão de dados através dos enlaces opere da melhor maneira possível. Aplicando estratégias ótimas para a atualização e modificação dos custos de maneira pró-ativa.

**Auto-Cura** Buscando as principais causas das falhas ocorridas na transmissão através de detecção. Utilizando o modelo de sistema autônomo, identificando, diagnosticando e reparando problemas gerados por falhas na comunicação entre os enlaces.

**Auto-Proteção** Efetuando a proteção da estrutura de comunicação de rede como um todo. Antecipando problemas, baseando-se na análise das características identificadas e classificadas, realizando ações que buscam minimizar os efeitos dos problemas surgidos.

## 3.6 Estrutura de Funcionamento

Através da observância das funcionalidades a serem desempenhadas pelo TDE, descritas na seção 3.5 foi desenvolvido o TDE, como um elemento autônomo com uma análise das características de um enlace. Estas características são de qualidade do link direto, qualidade do link reverso, taxa de erros e pela taxa de utilização da fila. Estas 4 características ilustradas na figura 3.2 são analisadas e classificadas pelo TDE com utilização do algoritmo de classificação k-NN.

O roteamento dinâmico com TDE, é utilizado para prover acesso a um conjunto específico de recursos, onde estes são controlados pela implementação de recursos isolados ou compartilhados com implementações de outros serviços baseado no documento de [Keeney et al., 2005], ou seja, as funções de serviços do TDE que se comunicam com o protocolo de roteamento são a de análise de tráfego e definição de custos as quais podem comunicar-se com outras funções de serviços de um ou mais TDE. Esta implementação de recursos, quando compartilhada, comunica-se com outro TDE utilizando o serviço executado pelo protocolo OLSR, o qual efetua troca de mensagens com outros equipamentos da rede.

Com base neste modelo, e buscando atender os princípios de um sistema autônomo, uma estrutura de rede que utilize elementos autônomos para se auto gerenciar, é capaz de proporcionar os princípios fundamentais de um sistema autônomo, de auto-configuração, auto-otimização, auto-cura e auto-proteção. Estes princípios são implementados através do uso de um método de aprendizado que efetua a análise dos padrões da rede obtendo um resultado mais adequado para atender o objetivo desejado.

Neste trabalho se deseja atender os princípios autônomos apresentados, substituindo o atual serviço de cálculo de custo de uma rota determinado por uma métrica com fórmula matemática, mantendo o uso do próprio protocolo OLSR. Nesta estrutura, são atendidos estes princípios fundamentais através da geração destes recursos com distribuição de tráfego, definindo a melhor forma de equilibrar a utilização de rotas.

Na figura 3.8, podem ser visualizadas as características e o funcionamento do TDE. As características consistem na análise do tráfego através da verificação dos dados disponíveis relativos a qualidade do enlace direto, qualidade do enlace reverso, taxa de erros, e a taxa de utilização da fila, descritos no capítulo 2.1 com aplicação demonstrada na seção 4.1. Baseado nas características de tráfego apresentadas, o TDE classifica estas informações, definindo por fim o melhor custo para o enlace.

Na figura 3.8 é apresentada a sequência do funcionamento do TDE, onde pode ser visualizada a comunicação entre os protocolos de rede, sendo OLSRra o protocolo de roteamento executado no roteador *a* e OLSRrb o protocolo de roteamento executado no roteador *b*, esta figura objetiva apresentar o funcionamento do TDE.

Para a definição do custo do enlace, de forma a possibilitar a definição de rotas, é desempenhada uma sequência de funcionalidades. Estas, são apresenta na figura 3.8 e estão aqui descritas na sequência.

Após a troca de mensagens entre os protocolos, é solicitado pelo pelo OLSRrb ao OLSRra seu custo para que seja possível efetuar a definição da melhor rota. A definição da qualidade do link reverso é definida através dos pacotes hellos enviados do roteador *b* para o roteador *a* explanado no capítulo 2. O OLSRra solicita um recálculo do custo ao TDE implementado no roteador *a*, observando os valores relativos as características de qualidade de enlace, qualidade de enlace reverso e taxa de erros. Este por sua vez, executa a sequência de análise do tráfego identificando os valores relativos às características da taxa de utilização da fila que seguidamente são classificados com a utilização do algoritmo de classificação inteligente k-NN observando as 4 características apresentadas.

Após esta classificação, é utilizado o peso da distância, apresentado na seção 2.3.3 buscando efetuar um refinamento inicial no resultado. Para isto, são observados os valores relativos aos *k* elementos definidos pelo k-NN onde  $k=3$  e suas distâncias relativas.

Feito este refinamento, é então utilizado o coeficiente de memória apresentado na seção 3.3 para um segundo refinamento do resultado observando o histórico do comportamento do tráfego. Por fim, ocorre a finalização através da funcionalidade de definição do custo, a qual repassa o valor calculado do custo do enlace à funcionalidade inicial do TDE que encaminha ao protocolo o resultado da requisição de cálculo do custo solicitado.

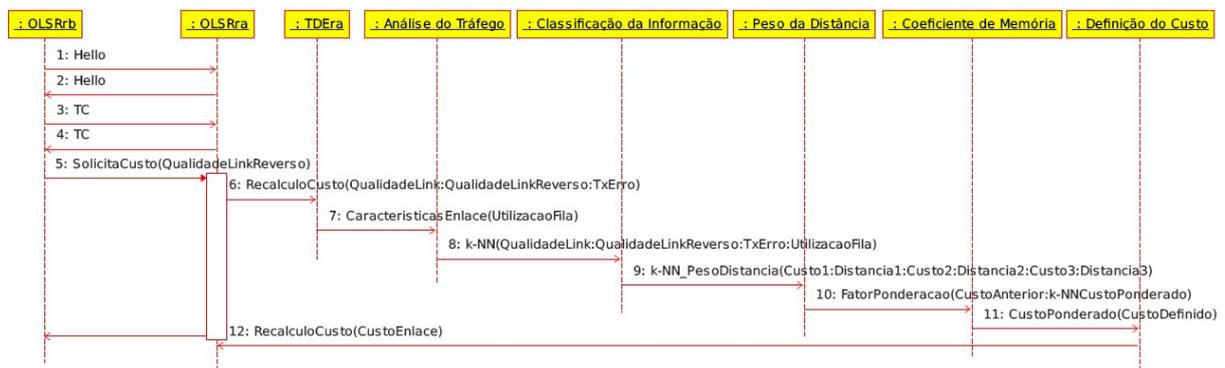


Figura 3.8: Sequência de funcionamento - TDE

## 3.7 Princípios Autônomicos

Para obter um melhor desempenho e formação de uma estrutura inicial, é necessária uma inicialização de cada TDE de forma que possam capturar informações e iniciar assim as trocas de informações com outros TDE's e desta forma efetuar as alterações necessárias para que os serviços estejam disponíveis, estabelecendo regras entre eles. A partir deste momento, devem aguardar a comunicação de outros TDE's ou a falta de comunicação para nova análise e tomada de decisão. Esta inicialização se dá através da leitura de uma tabela de aprendizado contendo informações relativas a possíveis estados da rede e a troca de mensagens utilizam o protocolo OLSR, que em seu algoritmo efetua troca de mensagens entre os AP's conectados à rede. Isto ocorre sem a necessidade de intervenção humana, havendo assim uma base de

informações local em cada AP. Estas informações deverão ser consideradas para análise com a base inicial de dados do TDE de forma automática.

A estrutura implementada no TDE, atende aos princípios autonômicos de forma a proporcionar uma melhoria nos recursos de auto-configuração da rede buscando com isto um ganho de desempenho. Além disso, possui recurso de melhoria contínua, proporcionando um trabalho de auto-otimização em caso de falha, através do monitoramento constante de tráfego. Ainda, realiza uma auto-correção desta falha, atendendo ao princípio de sistema autonômico de auto-cura no caso de ocorrência de queda de serviços, além de prevenir possíveis atividades que venham a interferir na qualidade do sinal do enlace, e que possam vir a proporcionar paralisação parcial ou total de serviços da rede através de auto-proteção, conforme representado através das classes definidas na seção 3.4.

Cada um destes itens é considerado para uma base de dados de cada elemento de forma a possibilitar ações preventivas e/ou corretivas de cada TDE, através da definição do custo dos enlaces disponíveis.

### **3.8 Reconfiguração do Ambiente**

Estando os serviços em funcionamento com uso dos EA's, a partir de um determinado momento, surge uma necessidade de manutenção da estrutura de rede de forma a garantir o perfeito funcionamento destes serviços. Esta necessidade pode surgir por diversos motivos como a queda de energia em um equipamento de conexão de rede sem fio, o que obrigatoriamente deve ser identificado pelo EA de forma a reconfigurar os custos dos enlaces através do uso do próprio TDE, forçando o protocolo OLSR a rever os roteamentos que antes utilizavam este equipamento para alcançar um nó da rede.

Além de utilizar o princípio de auto-cura objetivando manter os serviços de rede disponíveis, a reconfiguração do ambiente também é necessária para otimizar os serviços da rede como a exemplo da ocupação total da fila de dados.

### **3.9 Tabela de Aprendizado k-NN**

A grande vantagem do modelo proposto é que podemos treinar novas tabelas de aprendizado com características do enlace ou do nó para verificar se estas informações são relevantes. Para os estudos apresentados nesse trabalho, foi utilizada inicialmente uma tabela com valores retornados da formula do ETX.

Para representar o ETX foi elaborada uma tabela com 3 colunas. Na primeira coluna foi realizada a variação do valor do enlace direto, na segunda coluna a variação do valor do enlace reverso e na terceira foi colocado o valor referente ao custo ETX. Com esse experimento conseguiu-se que o TDE tivesse o mesmo comportamento que a métrica ETX que tem um bom resultado. A partir deste experimento foi gerada uma nova tabela de aprendizado, onde foram mantidas as colunas anteriores, mas inseridas mais duas colunas com as características consideradas relevantes. Na terceira coluna foram adicionados os valores da taxa de erro da interface do nó e a quarta coluna a porcentagem ocupada da fila da interface. A quinta coluna ficou com os resultados da terceira coluna anterior. Para retirar as características linear foram inseridas estas regras para alterar a tabela de aprendizado: 1. Em todas as linhas que o valor na coluna porcentagem da fila ocupada for maior que 85% o valor da coluna resultado foi alterado

para 100, que é o valor máximo, gerador de bloqueio. 2. Em todas as linhas que o valor na coluna taxa de erro da interface for maior que 90% o valor da coluna resultado foi alterado para 100, que é o valor máximo. 3. Em todas as linhas que o valor na coluna taxa de erro da interface for maior que 60% o valor da coluna resultado será acrescentado de 10% limitado ao valor máximo de 100.

A metodologia aplicada na elaboração da tabela de aprendizado, baseia-se na utilização de valores de resultados semelhantes aos resultados que seriam retornados pela métrica ETX elevando custos nos casos de aumento da taxa de erro e maior utilização de fila. Ainda, adicionando-se nesta tabela, valores de custos mais elevados a medida que a taxa de erro aumenta e valores com taxas de utilização de fila e taxa de erros com retorno de custos máximos para casos de uso total de fila. Através da utilização de custo máximo para os casos em que a fila esteja cheia, se pretendeu desviar o tráfego afim de evitar descarte de pacotes caso hajam enlaces alternativos que possam ser utilizados como visto na seção 3.1.



# Capítulo 4

## Experimentos e resultados

A experimentação das simulações para geração dos resultados, encontra-se na seção 4.2 onde o foco foi o uso do software de simulação NS-2 e a aplicação dos elementos estudados. No entanto considerou-se fundamental e com alto fator de relevância para este trabalho que se obtivesse uma base de conhecimento mínimo sobre os elementos envolvidos, tanto do software de simulação quanto da operação de redes MESH, além de um estudo sobre redes autônomicas e inteligência artificial, que podem ser verificados no capítulo 2. É importante observar que a possibilidade de utilização de uma estrutura como o campus da PUC/PR em um cenário de simulação facilita uma futura implementação do ambiente simulado. A complexidade e dinamismo de uma rede MESH, em detrimento ao uso de diversas métricas possíveis de serem utilizadas, exigiu uma restrição no âmbito do estudo para apenas duas delas, a ML e a ETX, deixando as demais para estudos posteriores. A métrica AP não foi utilizada pelo motivo da existência de 10 nós fixos apenas, não existindo outros nós que poderiam se somar ao cenário aleatoriamente.

### 4.1 Descrição do modelo de simulação

O processo de simulação realizado utilizou transmissões simultâneas de Voz/VoIP (UDP) e Dados/FTP (TCP). O protocolo utilizado foi o OLSR, pois, baseado na literatura, o mesmo atende aos requisitos do cenário onde existe a baixa mobilidade e baixo número de nós. Considerou-se a utilização do codec G.729<sup>1</sup>, por ser amplamente utilizado em redes sem fio pois ele apresenta um baixo consumo de banda de somente 8 Kbps. Existem diversos trabalhos como o de [Kim and Hong, 2006] indicando como mais adequado.

Para o tráfego FTP, foram utilizados 3 fluxos necessários de background no Modelo de Pareto<sup>2</sup> pela necessidade de caracterizar-se tráfego em rajadas, com valores padrão.

Durante a execução das simulações, foi percebido que devido o ganho das antenas de 18dB, a maioria dos nós enxergavam-se em no máximo 3 saltos, e para verificar a real

---

<sup>1</sup>O codec G.729 foi desenvolvido pela empresa Sipro e padronizado em 1996 por recomendação da ITU-T. Seu desenvolvimento a principio foi para utilização em redes de comutação por circuito como ISDN ou Frame Relay. Atualmente, o G.729 é o codec mais utilizado em aplicações VoIP. Ele pode ser encontrado em equipamentos e aplicativos VoIP, videoconferência e teleconferência, mensagem unificada, telefonia de Internet, e outros aplicativos onde a qualidade de serviço, atraso e largura de banda são importantes.

<sup>2</sup>Eficiência ou ótimo de Pareto é um conceito de economia desenvolvido pelo italiano Vilfredo Pareto. Uma situação econômica é ótima no sentido de Pareto se não for possível melhorar a situação, ou, mais genericamente, a utilidade de um agente, sem degradar a situação ou utilidade de qualquer outro agente econômico.

transmissão através dos nós, foi alterado o ganho para 12dB, possibilitando assim um máximo de até 5 saltos na tabela de roteamento.

Para calcular o melhor custo para um enlace, o TDE utiliza o algoritmo de classificação inteligente KNN apresentado na seção 2.3.3 refinando o resultado através da utilização da média ponderada relacionada a distância euclidiana dos resultados possíveis. O TDE conta ainda com uma tabela de aprendizado que utiliza 4 atributos com 3010 amostras de treinamento, que tem como atributos o *Link Direto LD*, a qualidade do *Link Reverso LR*, a taxa de utilização da fila conforme explicitado na seção 3.1 e a taxa de erro na transmissão de pacotes. A fila é verificada na quantidade de utilização em percentual do nodo.

O custo atribuído a um enlace da rede recebe um valor fornecido através do TDE utilizando o algoritmo k-NN com  $k=3$  e retornando a média ponderada dos  $k$  elementos mais próximos como visto na seção 4.1.1 observando os valores em uma escala numérica de 1 a 100, onde o maior valor representa o bloqueio.

#### 4.1.1 Métodos e Modelo de Execução

Os métodos de experimentação utilizados em observância da avaliação, consistem na criação de um elemento autônomo (*TDE*) adotando o algoritmo de classificação inteligente KNN para definir o custo de um enlace analisando a qualidade de um link de transmissão, bem como a detecção de aumento excessivo de tráfego, substituindo as métricas atualmente utilizadas pelo protocolo OLSR (Optimized Link State Routing).

De forma a demonstrar a ação do TDE de maneira simplificada, utilizou-se uma tabela 4.1 com apenas 3 atributos, onde pode ser verificada uma amostragem de 5 elementos em uma tabela de aprendizado com total de 40 amostras, onde o algoritmo deve encontrar um custo de um enlace com valores observados em uma amostra em determinado instante pelo nó, sendo eles taxa de erros de 0,30, fila de 0,70 e qualidade do enlace de 1,00.

Tabela 4.1: Modelo de tabela de aprendizado com 5 amostras

X1=Tx.Err /Nodo	X2=Fila Utilizada	3=Qualidad Enlace	Custo do Enlace
0,00	0,00	1	1,00
0,70	0,70	1	60,00
0,70	0,40	1	50,00
0,30	0,40	1	5,00
0,10	0,40	1	5,00

Utilizando apenas os dados pré-existent na tabela de aprendizado, pode-se calcular o custo através das amostras existentes estabelecendo um parâmetro de 3 vizinhos mais próximos, calculando a distância entre a instância de consulta e de todas as amostras de treinamento, onde a coordenada da instância de consulta é (0,30; 0,70; 1,00) ao invés de efetuar o cálculo da distância, calcula-se o quadrado da distância, neste exemplo, sem a raiz quadrada, que torna mais veloz o cálculo como apresentado na tabela 4.2.

Após ter sido realizado o cálculo da distância pelo algoritmo, é efetuada a ordenação da distância para determinar os vizinhos mais próximos baseado na  $K$ -ésima distância mínima conforme tabela 4.3.

Reunindo a categoria  $Y$  dos vizinhos mais próximos, desconsiderando distância maior que 3, são definidos os valores definidos da tabela 4.4 para serem utilizados.

Tabela 4.2: Cálculo da distância em uma instância de consulta com 5 amostras

X1=Tx.Err /Nodo	X2=Fila Utilizada	X3=Qualidade Enlace	Quadrado da distância a Uma instância de consulta
0,00	0,00	1	$(0,00 - 0,30)^2 + (0,00 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,58$
0,70	0,70	1	$(0,70 - 0,30)^2 + (0,70 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,16$
0,70	0,40	1	$(0,70 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,25$
0,30	0,40	1	$(0,30 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,09$
0,10	0,40	1	$(0,10 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,13$

Tabela 4.3: Modelo de ordenação da distância KNN com 5 amostras

X1=Tx.Err /Nodo	X2=Fila Utilizada	X3=Qualidade Enlace	Quadrado da distância a Uma instância de consulta	Rank Distância Mínima	Está incluído nos 3 Vizinhos próximos?
0,00	0,00	1	$(0,00 - 0,30)^2 + (0,00 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,58$	5	NAO
0,70	0,70	1	$(0,70 - 0,30)^2 + (0,70 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,16$	3	SIM
0,70	0,40	1	$(0,70 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,25$	4	NAO
0,30	0,40	1	$(0,30 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,09$	1	SIM
0,10	0,40	1	$(0,10 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,13$	2	SIM

Tabela 4.4: Categoria Y de vizinhos mais próximos

X1=Tx.Err /Nodo	X2=Fila Utilizada	X3=Qualidade Enlace	Quadrado da distância a Uma instância de consulta	Rank Distância Mínima	Está incluído Nos 3 Vizinhos Próximos?	Y Categoria dos vizinhos Mais próximos
0,00	0,00	1	$(0,00 - 0,30)^2 + (0,00 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,58$	5	NAO	1,00
0,70	0,70	1	$(0,70 - 0,30)^2 + (0,70 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,16$	3	SIM	60,00
0,70	0,40	1	$(0,70 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,25$	4	NAO	50,00
0,30	0,40	1	$(0,30 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,09$	1	SIM	5,00
0,10	0,40	1	$(0,10 - 0,30)^2 + (0,40 - 0,70)^2 + (1,00 - 1,00)^2 = 0,13$	2	SIM	5,00

Para definição de valor, é utilizada a simples maioria da categoria dos vizinhos mais próximos como uma previsão de ocorrência da estância de consulta. São encontrados então 2 valores 5,00 e um 60,00, então podemos concluir que os valores do nodo com dados de taxa de erros em 0,30, utilização de fila em 0,70 e qualidade do link em 1,00, recebe o custo de 5,00.

Contudo, implementações se fizeram necessárias de forma a refinar o resultado que deveria ser utilizado, aplicando-se assim sobre o resultado dos  $k$  elementos mais próximos a média ponderada em relação inversa com sua distância como visto na seção 2.3.3 definindo assim o refinamento 1, atribuindo pesos maiores a valores mais próximos. Sendo assim, o custo real fornecido pelo TDE não seria de 5,00. Para o fornecimento do custo de um enlace seriam observados os valores dos 3 elementos mais próximos, como no exemplo, valores de 5,00; 5,00 e 60,00 e suas respectivas distancias de 0,9; 0,13 e 0,16. O resultado inicial fornecido pelo TDE de forma mais inteligente seria então de 18,72. Uma vez definido este custo inicial, é aplicado um segundo refinamento definido aqui como refinamento 2, onde o fator de memória relativo ao enlace definido em 3.3 é utilizado definindo o custo final deste enlace.

#### 4.1.2 Simulação de tráfego

O tráfego foi gerado através de transmissões *VoIP* (UDP) e FTP (TCP). As simulações são compostas pela utilização até 12 fluxos *VoIP*, que representam 6 chamadas *VoIP*, e mais um tráfego de 60 fluxos *VoIP* juntamente com tráfego de *background* FTP. Este último de 60 fluxos com o objetivo de chegar a um congestionamento quase completo de transmissão e observar o comportamento dos elementos de cálculo de custos. O protocolo de roteamento utilizado nas simulações foi o OLSR, amplamente utilizado em redes *Mesh*. Para comparar os resultados do *TDE* apresentados neste documento, foi utilizada a métrica *Expected Transmission Count* e *Minimum Loss* [Passos and Albuquerque, 2007] no mesmo cenário de simulação. Esta escolha se dá pelo fato da métrica ML ser amplamente utilizada nas WMN [ReMesh, 2005] e com resultados melhores em relação a métrica ETX em alguns cenários.

A Figura 4.1 ilustra o campus da PUC-PR com os roteadores *Mesh* sendo representados pelos círculos amarelos, as linhas contínuas indicam as chamadas *VoIP* e as linhas tracejadas indicam o tráfego de *background*. Os blocos foram numerados de 1 a 10, ficando: 1-CTHC, 2-Biblioteca Central, 3-Administração Central, 4-Quadras Poliesportivas, 5-Bloco Acadêmico, 6-CCET, 7-CCBS, 8-CCJS, 9-Parque Tecnológico e 10-PPGIA.

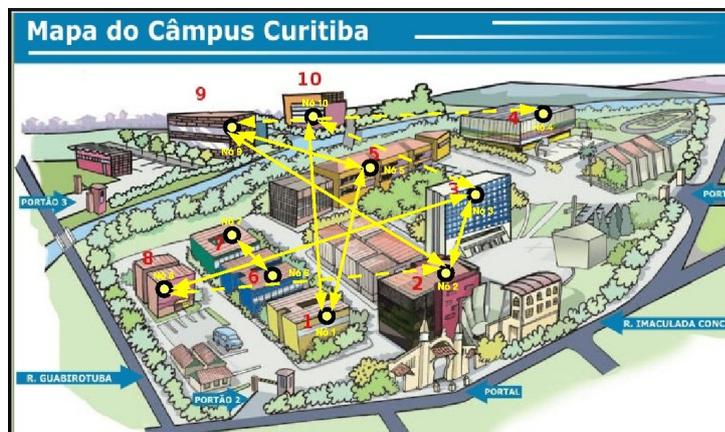


Figura 4.1: Câmpus PUC-PR Adaptado de [Vicentini et al., 2010]

A tabela 4.5 descreve as localizações dos nós pelo cenário de simulação conforme figura 4.1.

Tabela 4.5: Localização dos nós na simulação [Vicentini et al., 2010]

Posição dos nodos em metros					
Identificação do Nó	Eixo X	Eixo Y	Identificação do Nó	Eixo X	Eixo Y
1. CTHC	160,00	485,00	6. CCET	628,00	320,00
2. Biblioteca Central	305,00	277,00	7. CCBS	570,00	440,00
3. Administração Central	340,00	226,00	8. CCJS	780,00	480,00
4. Quadras Poliesportivas	270,00	32,00	9. Parque Tecnológico	918,00	597,00
5. Bloco Acadêmico	476,00	200,00	10. PPGIA	968,00	550,00

As chamadas *VoIP* são compostas por dois fluxos, pois a aplicação tem fluxo bidirecional e os fluxos de ida e volta não trafegam pelos mesmos pontos. O tráfego de *background* (FTP) foi gerado através do Modelo de Pareto [McCanne et al., 2010] [NS-2, 2010], para caracterizar tráfego em rajadas, com valores *default*. O *codec* utilizado para as simulações foi o G.729, pois seu consumo de banda é de 8 Kbps, desta forma é o mais utilizado nas redes sem fio [Cordeiro et al., 2007]. A tabela 4.6 demonstra os parâmetros da simulação.

Tabela 4.6: Parâmetros de simulação

Parâmetros	Valores
Protocolo de roteamento	OLSR
Métricas aplicadas / elemento	ETX / ML / TDE
Tempo de simulação	60 segundos
Padrão utilizado	IEEE 802.11 g
Modelo de propagação	Shadowing
Modelo das antenas	Omnidirecional, 12dB de ganho
Path loss exponent	2,7
Shadowing deviation	4.0 dB
Área de simulação	1000m x 1000m
No. de nós	10
Bandwidth	54 Mb
BasicRate	24Mb

O intervalo de confiança para análise dos resultados foi de 90% calculado conforme [Jain, 1991]. Os valores utilizados para avaliação dos resultados foram: *jitter*, *atraso*, *vazão* e *probabilidade de bloqueio*.

## 4.2 Formato para obtenção dos resultados na simulação

Para a obtenção dos resultados, foram efetuadas simulações no modelo de cenário real do campus da PUC-PR (Figura 4.1), com blocos acadêmicos e áreas de estacionamento entre os blocos. Foi analisado o comportamento do TDE, nestas simulações através da utilização do software *Network Simulator 2* [McCanne et al., 2010], utilizando-se extensões para o OLSR e a métrica ML desenvolvidas para o NS-2 [Cordeiro et al., 2007], com inclusão do modelo do elemento autônomo no código desenvolvido em C++ em substituição a fórmula de cálculo da métrica.

A tabela 4.7 apresenta os fluxos gerados nas simulações. Foram gerados 2 fluxos para cada chamada VoIP, onde os fluxos gerados pelo tráfego de FTP estão descritos na tabela 4.8.

Tabela 4.7: Fluxos de chamadas VoIP gerados na simulação

Descrição dos Nós			
1 CTHC – Bloco Amarelo	6 CCET -Bloco Azul		
2 Biblioteca Central	7 CCBS – Bloco Verde		
3 Prédio da Administração	8 CCJS -Bloco Vermelho		
4 Quadras Poliesportivas	9 Parque Tecnológico		
5 Bloco Acadêmico (Laranja)	10 PPGIA		
Fluxos	Nós	Início(seg.)	Fim (seg.)
1	1 e 6	5	55
2	6 e 1	5	55
3	5 e 1	7	55
4	1 e 5	7	55
5	5 e 9	9	55
6	9 e 5	9	55
7	2 e 9	6	55
8	9 e 2	6	55
9	3 e 8	7	55
10	8 e 3	7	55
11	2 e 3	15	55
12	3 e 2	15	55

Tabela 4.8: Fluxos de chamadas FTP gerados na simulação

Descrição dos Nós			
1 CTHC – Bloco Amarelo	6 CCET -Bloco Azul		
2 Biblioteca Central	7 CCBS – Bloco Verde		
3 Prédio da Administração	8 CCJS -Bloco Vermelho		
4 Quadras Poliesportivas	9 Parque Tecnológico		
5 Bloco Acadêmico (Laranja)	10 PPGIA		
Fluxos	Nós	Início(seg.)	Fim (seg.)
1	3 e 8	7	45
2	4 e 9	8	45
3	3 e 10	10	45

Voz sobre IP é considerado uma aplicação tipicamente com as exigências mais estritas com respeito à demora dos pacotes. Como a recomendação de ITU (International Telecommunication Union) estabelece um limite superior de 400ms para ser considerado aceitável em relação à demora de pacote para conversações de VoIP, através da redução do atraso com utilização do TDE se obtém uma melhora na qualidade da comunicação. Isto, devido ao fato de que quando ocorre um aumento excessivo de tráfego sobre um enlace, verificado pelo TDE através da taxa de utilização de fila, o custo deste enlace receberá um maior valor para o mesmo, forçando o protocolo de roteamento a efetuar a escolha de uma rota alternativa.

De forma a avaliar o comportamento da rede, foram aumentados os fluxos nas simulações em um total de 60, onde os bloqueios foram classificados por tipo e apresentados na figura 4.6. Os gráficos de jitter, atraso, vazão e bloqueio mantiveram os mesmos comportamentos em relação ao modelo simulado.

### 4.3 Tratamento dos resultados das simulações

Através do modelo utilizado foram obtidos os resultados das simulações em valores relativos ao jitter, atraso, vazão e bloqueio para cada tipo de tráfego, com diversas quantidades de fluxo até um total de 12 fluxos partindo de 6 chamadas de tráfego VoIP. Além da geração de dados utilizando 60 fluxos com 30 chamadas conforme descrito na seção 4.1.2 com a finalidade de medir o comportamento na utilização da capacidade máxima de transmissão de chamadas

VoIP em redes sem fio conforme [Wang et al., 2005]. Estes valores foram transferidos para planilhas onde à partir das médias das simulações foram elaborados gráficos referentes aos dados obtidos.

### 4.3.1 Dados relativos ao tráfego VoIP simulado

A figura 4.2 apresenta o resultado do jitter obtido nas simulações. O jitter refere-se a variação estatística do atraso. Para gerar o gráfico, foram utilizados os módulos dos valores obtidos. Pode ser percebido que não houveram diferenças relativas a variação do atraso, onde torna-se constante, apresentando uma estabilidade.

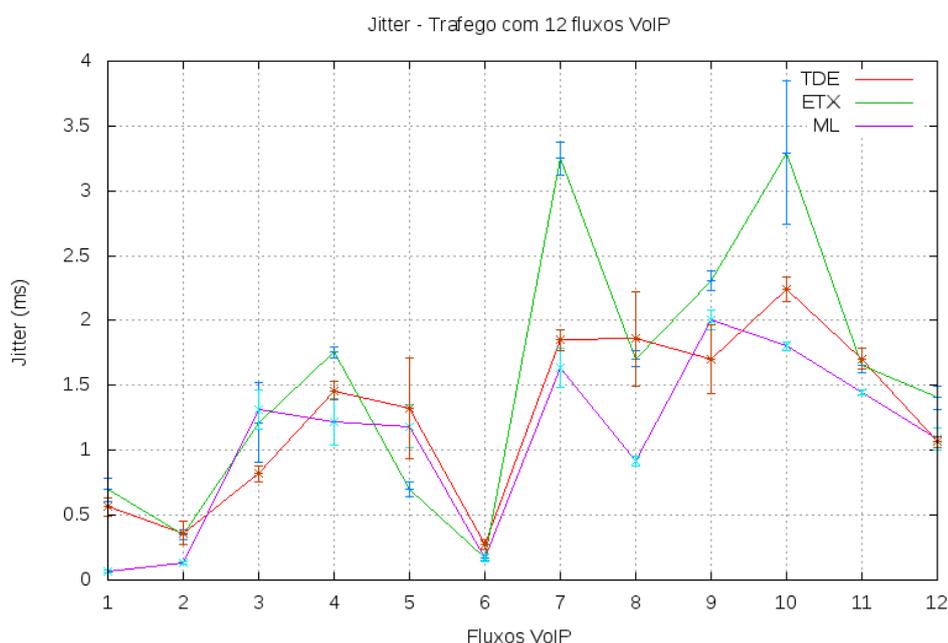


Figura 4.2: Média de jitter no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP

Assim como pode ser observado no atraso apresentado na figura 4.3, o jitter difere para fluxos da mesma chamada pelo motivo dos fluxos tomarem diferentes rotas, e ainda devido a concorrência pelo acesso ao meio, recebendo as interferências de outros nós. Com isto, pode ser observada que a utilização do TDE para maiores tráfegos de dados tende a se manter estável.

A figura 4.3 apresenta o resultado da média do atraso obtido nas simulações por fluxo enviado. O atraso é referente ao tempo gasto desde o envio até o recebimento de um pacote. Com o uso do TDE, pode ser observada uma redução considerável no atraso do envio de pacotes em relação à métrica ETX e ML original, esta melhora em relação às métricas se mantém. Ainda, os fluxos 3 e 4 com uso das métricas comparativas, atingiu valores superiores a 400ms; valor inaceitável para tráfego VoIP, enquanto o TDE mostrou-se eficaz, baixando este valor.

A figura 4.4 apresenta o resultado da média da vazão obtida nas simulações. A vazão é a medida da quantidade de tráfego de dados movidos de um nó da rede para outro dentro em um determinado intervalo de tempo. Observando este gráfico de vazão, verifica-se que, a vazão

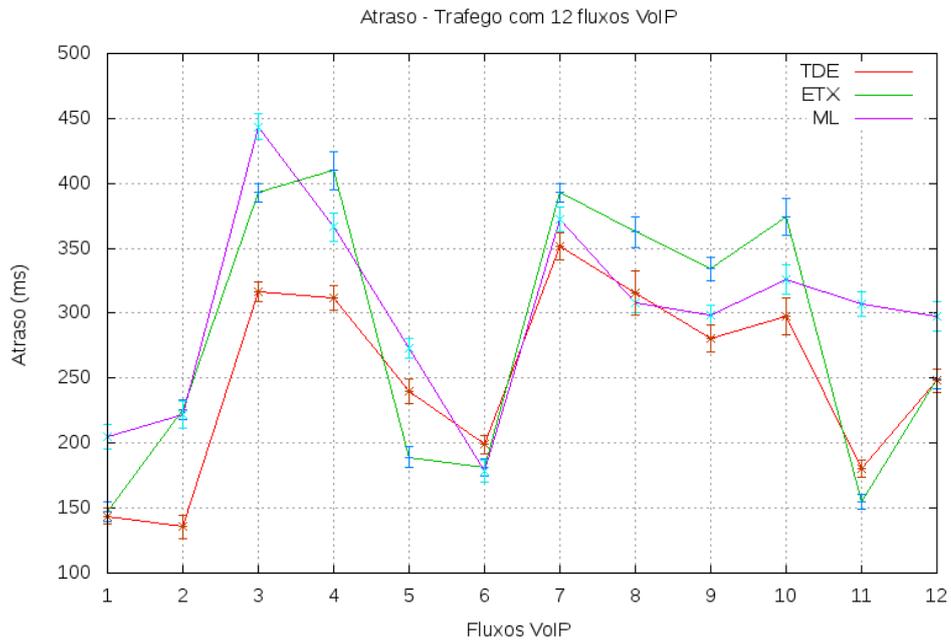


Figura 4.3: Média do atraso no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP

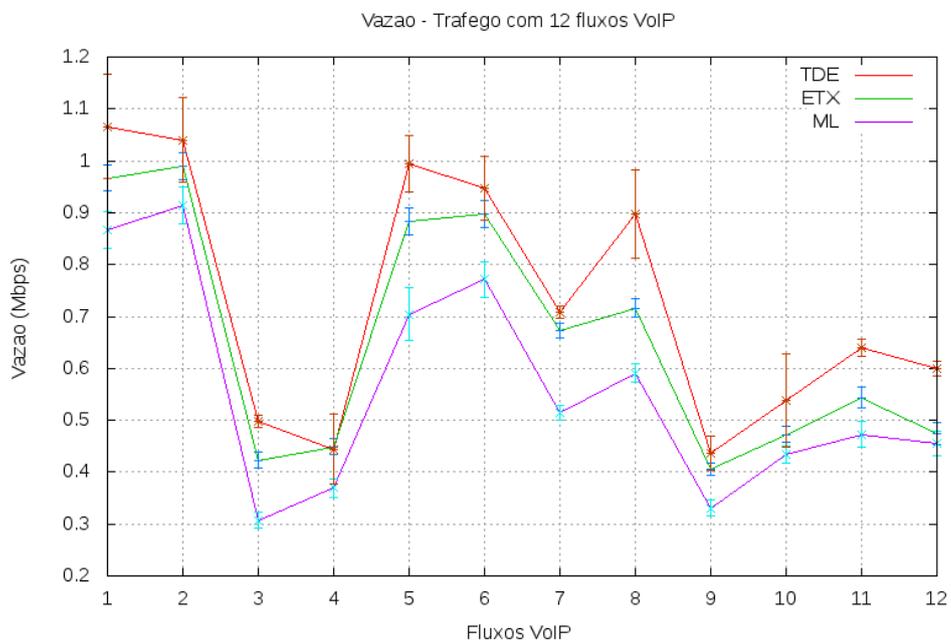


Figura 4.4: Média da vazão no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP

manteve-se maior na maioria dos fluxos transmitidos, e aumenta sua capacidade a medida que este tráfego se intensifica, assim, obtendo-se uma maior vazão.

Com isto, pode-se perceber que através do redirecionamento de rotas com a utilização do TDE, obtém-se um melhor aproveitamento dos enlaces da rede com ganho no envio de dados. Observou-se também que apesar de nas 3 formas de cálculo de custo existissem tráfego concorrendo com as chamadas, houve um ganho de vazão relativo com o uso do TDE, uma vez que nenhum mecanismo de QoS foi utilizado para priorização de tráfego ou controle de banda. Além do ganho no consumo de banda, fatores como a distância entre pontos influenciou, pois quanto menor a distância, maior foi a vazão. Como o cenário de simulação foi o mesmo para as 3 formas utilizadas, o TDE destacou-se pelo aumento real de vazão que pode ser observado também através da figura 4.8 que apresenta a média total da simulação.

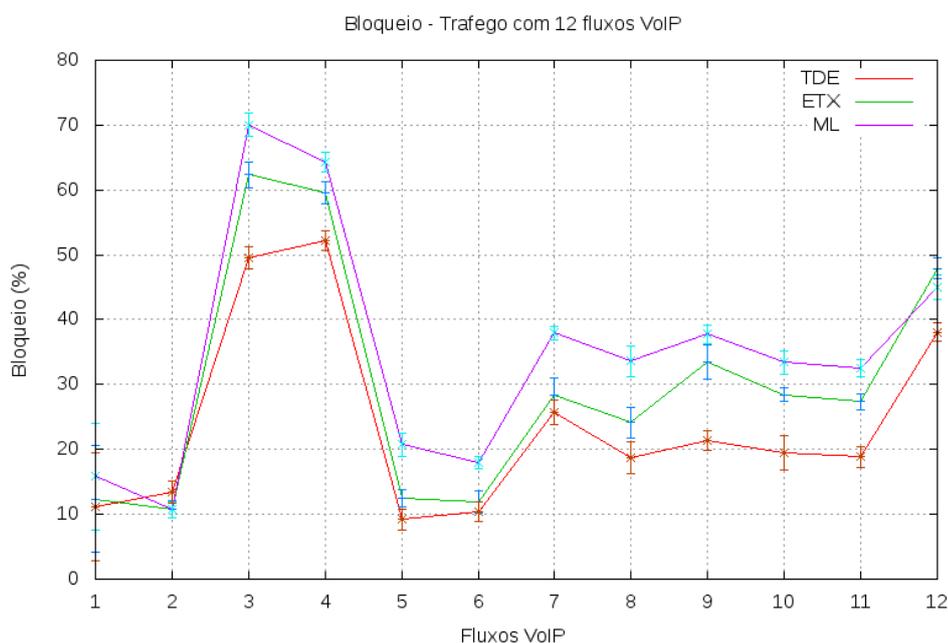


Figura 4.5: Média de bloqueio no tráfego VoIP - comportamento por fluxo VoIP

A figura 4.5 apresenta o resultado do bloqueio obtido nas simulações. O bloqueio apresenta o percentual de pacotes perdidos durante a transmissão. O bloqueio pode ocorrer por fatores como sobrecarga de fila ou não existência de rota para transmissão de dados. Como apresentado na figura 4.4, os dados referentes ao bloqueio destacam-se das métricas comparadas, apresentando um menor valor de bloqueio, fato que reforça a aplicação do TDE para se evitar descartes de pacotes quando do envio de uma sobrecarga de dados forçando a perda de dados e retransmissão devido ao sobrecarga da fila.

Através do uso não só dos valores inseridos na tabela de aprendizado para o k-NN, mas também da utilização de uma média ponderada relativa a distância, com fator de memória, obteve-se um valor mais próximo a situação encontrada em cada momento da simulação, onde os valores de bloqueios relativos a sobrecarga de fila foi menor em relação aos outros modelos de cálculo de custo. Isto pode ser visualizado através da figura 4.6 que apresenta em percentual, a quantidade média de pacotes bloqueados na simulação por motivo da não existência de uma rota ou sobrecarga de fila. A figura 4.6 considerou todo o tráfego simulado de VoIP e FTP transmitidos durante a simulação e apresenta uma redução considerável no bloqueio por motivo

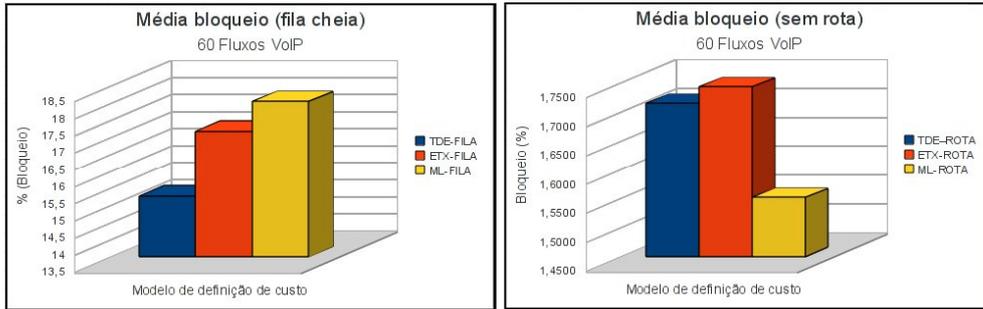


Figura 4.6: Comparativo de bloqueios por tipo nas diferentes formas de obtenção de custo de enlace (VoIP e TCP)

de sobrecarga de fila (*fila cheia*), fato que destaca o sucesso do TDE em relação a funcionalidade de detecção de aumento de tráfego e desvio de rota.

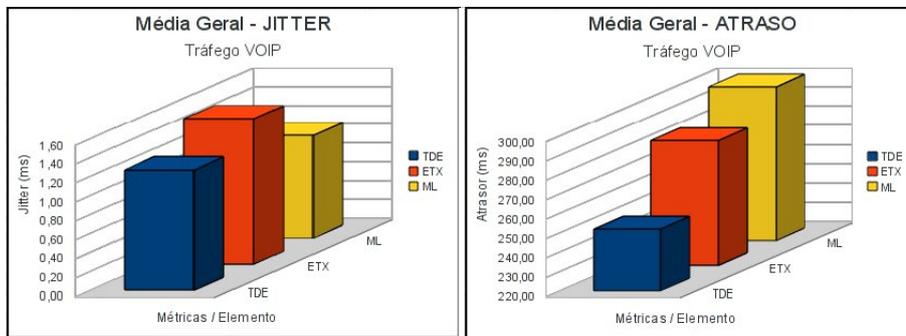


Figura 4.7: Média geral de todo o tráfego simulado - gráfico de Jitter e Atraso

Na figura 4.7 são apresentados os gráficos relativos à variação do atraso e o atraso em todo o tráfego VoIP simulado durante o período total de simulação. Os gráficos demonstram quem apesar da variação do atraso ter se apresentado como superior em relação às métricas comparadas, esta variação não foi muito elevada. Contudo, através da aplicação do TDE em substituição às métricas, foi possível reduzir o atraso total.

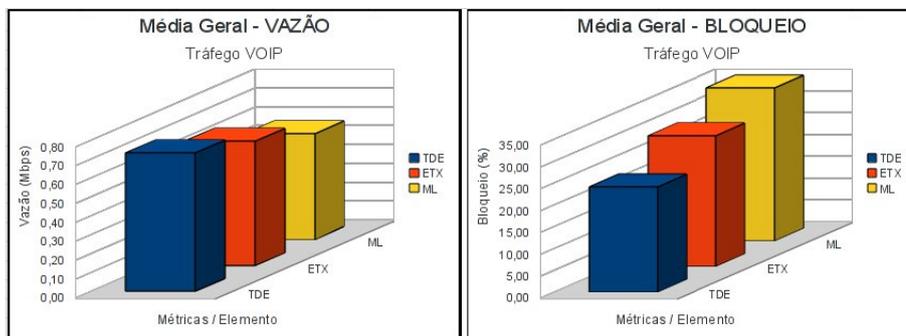


Figura 4.8: Média geral de todo o tráfego simulado - gráfico de Vazão e bloqueio

O TDE apresentou ainda um bom resultado na média geral da redução do bloqueio ou perda de pacotes em relação às métricas ML e ETX. O TDE conseguiu ainda, elevar a vazão

média da rede de forma a melhorar o desempenho geral do tráfego da rede conforme pode ser observado na figura 4.8 que apresenta a média geral das simulações.

### 4.3.2 Dados relativos ao tráfego FTP simulado

O jitter médio referente ao tráfego de FTP utilizado na simulação apresentado na figura 4.9 manteve-se estável em quase todos os fluxos simulados.

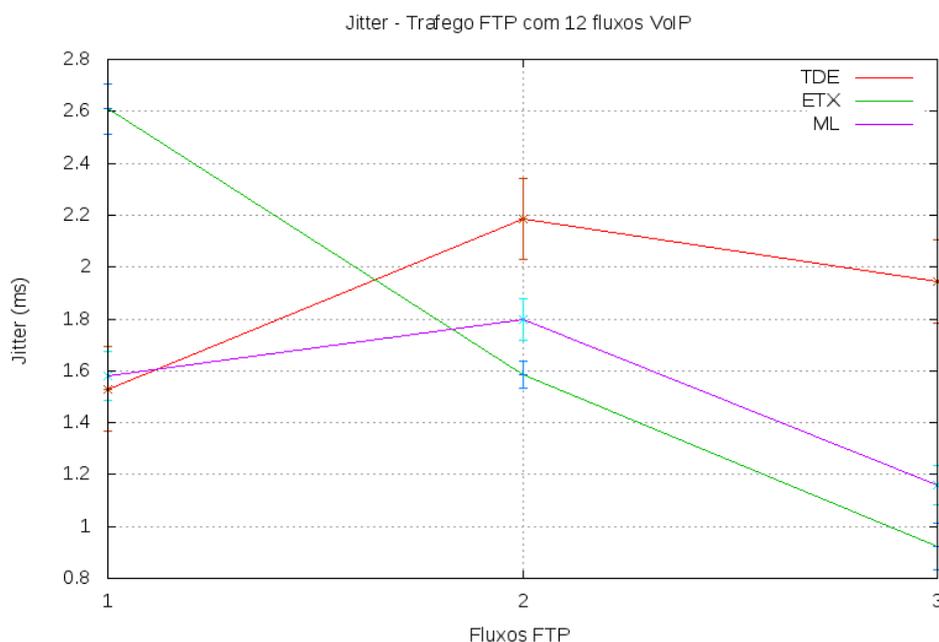


Figura 4.9: Média de jitter no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP

A média do atraso por quantidade de fluxo simulado com tráfego FTP manteve-se semelhante ao atraso proporcionado pelas métricas comparativas, não proporcionando grandes avanços em relação a este fator. Fato apresentado na figura 4.10.

O gráfico de vazão média com tráfego FTP visualizado na figura 4.11, apresenta um aumento considerável na capacidade da vazão com este tipo de tráfego através da utilização do TDE. Pode ser concluído que além do tráfego VoIP, o tráfego FTP também obteve um desempenho melhor pela detecção de aumento excessivo de tráfego nos enlaces da rede pelo TDE.

Assim como no gráfico de vazão, a média de bloqueio apresentada na figura 4.12 com a utilização do TDE se apresentou mais eficaz, reduzindo o bloqueio geral da rede. Pode se visualizar este fato também através da figura 4.14.

Observando a figura 4.13, pode ser verificado que não houveram ganhos consideráveis com o uso do TDE em tráfego de FTP, relativos às métricas anteriormente utilizadas, uma vez que não variou para melhores índices relativos a estes fatores.

Na figura 4.14, observa-se a média geral da simulação referente ao tráfego FTP gerado nos fatores de vazão e bloqueio. Concluiu-se que o EA desenvolvido apresentou ganhos consideráveis tanto na vazão deste tipo de tráfego como na redução do bloqueio.

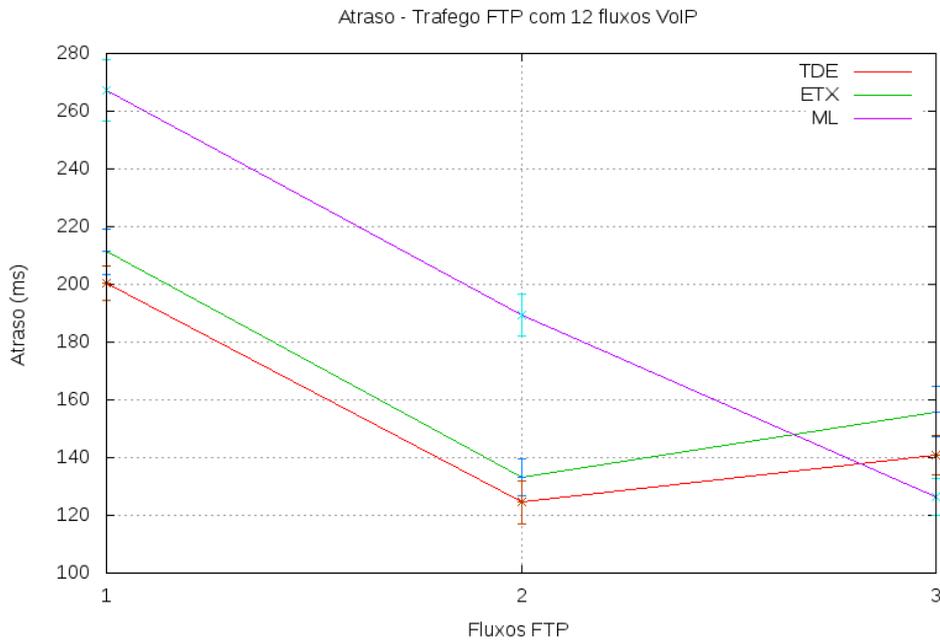


Figura 4.10: Média de Atraso no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP

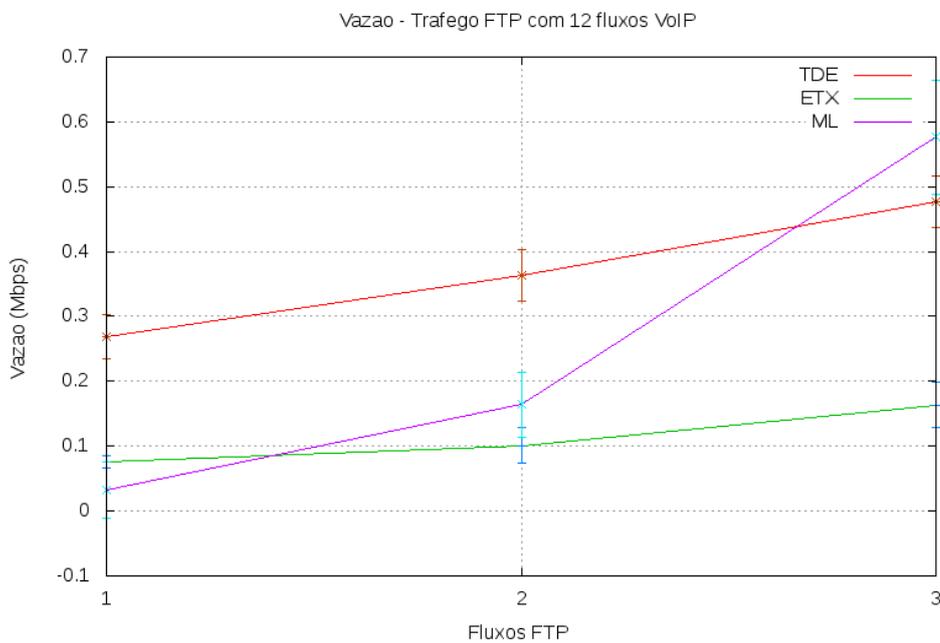


Figura 4.11: Média da Vazão no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP

Existem diversas aplicações em que se poderia utilizar o TDE, como exemplo, a análise da situação de enlaces em redes cabeadas. Contudo, conforme o foco deste trabalho, foram

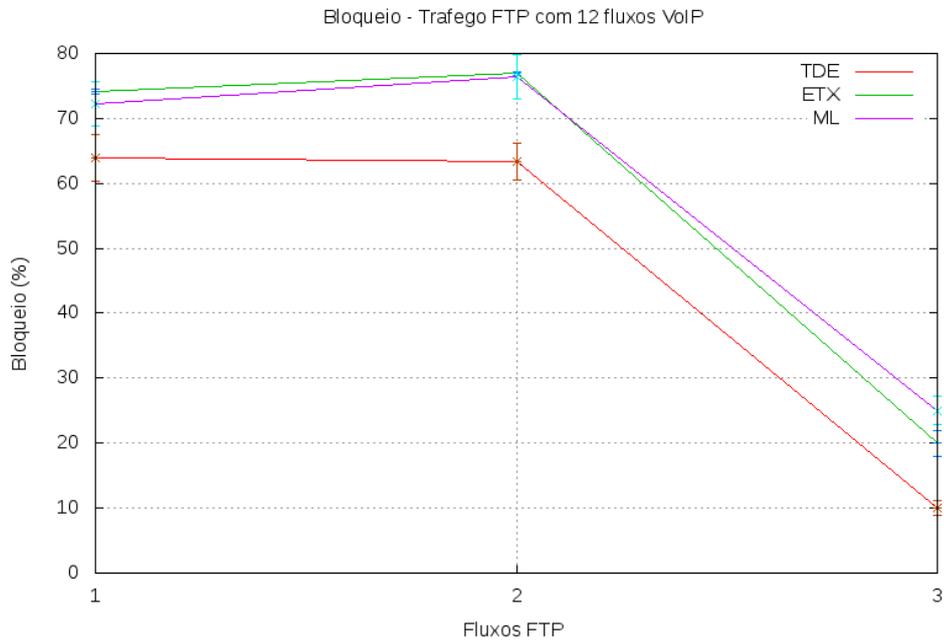


Figura 4.12: Média de Bloqueio no tráfego FTP - comportamento por fluxo FTP

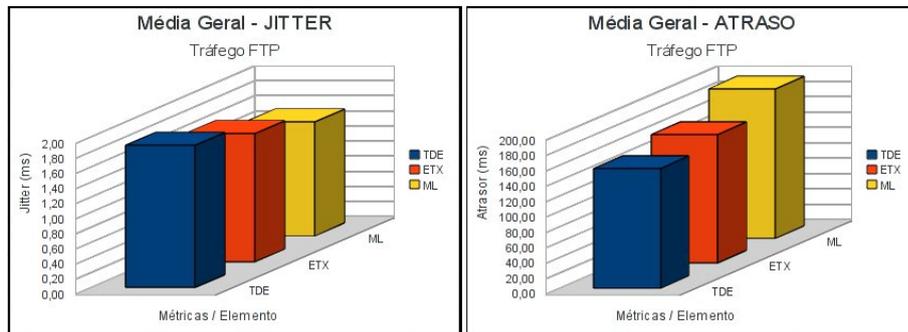


Figura 4.13: Média do Jitter e Atraso no tráfego FTP

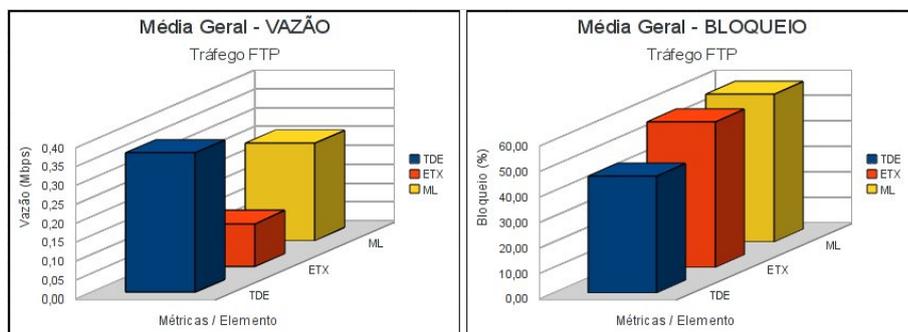


Figura 4.14: Média da Vazão e Bloqueio no tráfego FTP

realizadas análises através de simulações somente com o protocolo para redes sem fio OLSR, onde este elemento desenvolvido mostrou-se eficaz na redistribuição de tráfego apresentando-se como uma alternativa às métricas utilizadas neste protocolo de roteamento para rede sem fio.

# Capítulo 5

## Conclusão

Este trabalho propôs o mecanismo TDE utilizado em reconhecimento de padrões para aprendizado baseado em instancia, k-NN, que substitui as métricas de funções contínuas utilizadas pelos protocolos de roteamento. O TDE utiliza o custo do enlace para redirecionar o tráfego de maneira inteligente, e não contínua, a fim de reduzir a taxa de bloqueio de pacotes e aumentar a vazão do tráfego total da rede. O redirecionamento das rotas para enlaces secundários tem como objetivo reduzir o descarte de pacotes total, que é composto pelo descarte por fila somado ao descarte pela qualidade do enlace. O TDE utiliza quatro características conhecidas na comunicação de rede sem fio (Qualidade de transmissão, Qualidade de recepção, Carga da fila de transmissão, Taxa de erro) para criar a tabela de aprendizado. Para calcular o custo foi utilizado o k-NN para detectar quais são as instancias da tabela de aprendizado que estão mais próximas das características do enlace para assim retornar o custo do enlace. Com o intuito de estabilizar o custo do enlace foi adicionada ao TDE a média ponderada do custo do enlace. O TDE mostrou bons resultados em uma rede em malha sem fio com baixa mobilidade, para as principais métricas de QoS usada em redes em fio, mostrando assim ser uma alternativa viável e promissora.

A principal contribuição do trabalho é que o TDE é expansível, isto significa que podemos adicionar outras características na tabela de aprendizado, sem tornar a métrica um problema NP completo. Como trabalho futuro resta o treinamento de tabelas de aprendizado com outras composições de características de redes sem fio.

### 5.1 Conclusões e perspectivas de trabalho futuro

Projetos que envolvam Voz Sobre IP, sobretudo em redes *MESH* com uso de tráfego VoIP são diversos e atuam das maneiras mais diversificadas possíveis. Cada vez que a tecnologia se populariza, afetando um maior número de usuários que utilizam soluções de redes com este modelo, torna-se necessário ampliar a vazão utilizando melhor o cenário existente. As técnicas aqui listadas e testadas em comparação ao TDE, já são consagradas, utilizadas em diversos cenários de redes sem fio.

A utilização do modelo de redes autonômicas sem fio em malha utilizando o elemento autonômico TDE apresenta uma melhor performance onde o tráfego é mais intenso, uma vez que baseia-se principalmente na percepção do aumento do tráfego sobre um determinado enlace (*link*) redirecionando o fluxo para outro enlace da rede.

Uma vez implementada a estrutura de rede em malha sem fio, esta, poderá ter um ganho de desempenho de serviços através do uso de elementos autônômicos, estes, utilizando técnicas de inteligência artificial podendo ainda, em trabalhos futuros, implementar cada vez mais suas funções através de retroalimentação de informações de estado.

### **5.1.1 Conclusões do trabalho realizado**

Com elementos autônômicos em uma rede, cada dispositivo de acesso poderá ser capaz de analisar e implementar suas atividades, transformando a estrutura original da rede em uma rede autônômica sem fio em malha. Assim, a exigência de atividades de gerenciamento realizadas pelo homem, serão minimizadas, sendo sua necessidade inversamente proporcional ao crescimento da rede. Este trabalho utilizou quatro valores a serem aplicados na tabela de aprendizado como características para um algoritmo de classificação inteligente, além de médias de ponderações e avaliação de memória de tráfego passante. Apresentou ainda, resultados positivos quanto ao seu desempenho.

### **5.1.2 Perspectivas em trabalhos futuros**

Em trabalhos futuros pretende-se utilizar outros valores como características na tabela de aprendizado, além dos já utilizados, avaliando outros fatores que possam interferir na qualidade da transmissão de dados. Ainda, devem ser utilizadas informações do cenário e análise de sucesso possibilitando uma retroalimentação da tabela inicial de aprendizado através destas informações.

# Referências Bibliográficas

- [CIS, 2006] (2006). Cisco wireless mesh networking solution. <http://www.cisco.com/go/wirelessmesh>.
- [OP., 2009] (2009). OpenWrt. <http://openwrt.org/>.
- [BAB, 2009] (2009). Site Babylon Translation. *Dicionário Babylon*.
- [DES, 2009] (2009). Site EfJohnson Technologies. *EFJOHNSON page*.
- [MES, 2009] (2009). Site Wiki - Mesh. *MESH Wiki page*.
- [wik, 2009] (2009). Site Wiki - Roaming. *Roaming Wiki page*.
- [TCL, 2010] (2010). Wikilingue. <http://pt.wikilingue.com/es/Tcl>.
- [Albuquerque et al., 2006] Albuquerque, C. V. N., Saade, D. C. M., Passos, D. G., Teixeira, D. V., Leite, J., Neves, L. E., and Magalhães, L. C. S. (2006). Gt-Mesh - Rede Mesh de Acesso Universitário Faixa Farga Sem Fio - Relatório Técnico 3. Technical Report RT-3 1-118, Universidade Federal Fluminense, Fluminense - RJ.
- [Aoun et al., 2006] Aoun, B. and Boutaba, R., Iraqi, Y., and Kenward, G. (2006). Gateway Placement Optimization in wireless mesh networks with qos constraints. *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, November.
- [BAI, 2006] BAI, Y.; ITO, M. R. (2006). A Study for Providing Better Quality of Service to VoIP Users. In. *20th International Conference on Advanced Information Networking and Applications*.
- [Balasubramaniam et al., 2006] Balasubramaniam, S., Barrett, K., Strassner, J., Donnelly, W., and van der Meer, S. (2006). Bio-inspired Policy Based Management (bioPBM) for Autonomic Communication Systems. In *7th IEEE workshop on Policies for Distributed Systems and Networks*.
- [Bash et al., 2007] Bash, L., Jelger, C., and Tschudin, C. (2007). A case study in designing an autonomic wireless mesh network.
- [Braga et al., 2006] Braga, T., Silva, F., Ruiz, L., Nogueira, J., and Loureiro, A. (2006). Um Elemento Autônomo para Redes de Sensores Sem Fio.
- [Campista et al., 2008] Campista, M., Esposito, P., Moraes, I., Costa, L., Duarte, O., Passos, D., de Albuquerque, C., Saade, D., and Rubinstein, M. (2008). Routing metrics and protocols for wireless mesh networks. *IEEE network*, 22(1):6.

- [Chaudhry et al., 2005] Chaudhry, S., Akbar, A., Siddiqui, F., and Yoon, W. (2005). Autonomic Network Management for u-Zone Network. *IPSIJ SIG Technical Reports*, 2005(60):393–397.
- [Clausen and Jacquet, 2003] Clausen, T. and Jacquet, P. (2003). RFC3626: Optimized Link State Routing Protocol (OLSR). *RFC Editor United States*.
- [Cordeiro et al., 2007] Cordeiro, W., Aguiar, E., Moreira, W., Abelem, A., and Stanton, M. (2007). Providing quality of service for mesh networks using link delay measurements. In *Proceedings of 16th International Conference on Computer Communications and Networks, 2007. ICCCN 2007*, pages 991–996.
- [Couto et al., 2005] Couto, D., Aguayo, D., Bicket, J., and Morris, R. (2005). A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing. *Wireless Networks*, 11(4):419–434.
- [Darwin, 1859] Darwin, C. (1859). On the origin of species by means of natural selection, or the preservation of favoured races in the struggle for life. *New York: D. Appleton*.
- [Darwin, 1871] Darwin, C. (1871). The descent of man and selection in relation to sex. *UK: John Murray*.
- [de Meer et al., 2006] de Meer, H., Wüchner, P., and Houyou, A. (2006). Self-Organizing Systems: New Trends in Architectures and Performance Modeling. *al*.
- [Draves et al., 2004a] Draves, R., Padhye, J., and Zill, B. (2004a). Comparison of routing metrics for static multi-hop wireless networks. In *Proceedings of the 2004 conference on Applications, technologies, architectures, and protocols for computer communications*, pages 133–144. ACM New York, NY, USA.
- [Draves et al., 2004b] Draves, R., Padhye, J., and Zill, B. (2004b). Routing in multi-radio, multi-hop wireless mesh networks. pages 114–128.
- [Duarte, 2008] Duarte, J. (2008). Escalabilidade, Gerencia e Mobilidade para Redes Mesh de Acesso a Internet.
- [Esposito et al., 2007] Esposito, P., Schiller, F., Campista, M., Moraes, I., Rubinstein, M., Costa, L., and Duarte, O. (2007). Implementação da métrica de roteamento tempo esperado de transmissão em redes em malha sem fio. *XXV Simpósio Brasileiro de Redes de Computadores - SBrT*.
- [Estrin et al., 2002] Estrin, D., Culler, D., Pister, K., and Sukhatme, G. (2002). Connecting the physical world with pervasive networks. *IEEE Pervasive Computing, [S.I.]*, 1(1):59–69.
- [Eymann et al., 2003] Eymann, T., Reinicke, M., Ardaiz, O., Artigas, P., Freitag, F., and Navarro, L. (2003). Self-organizing resource allocation for autonomic network. In *Database and Expert Systems Applications, 2003. Proceedings. 14th International Workshop on*, pages 656–660.
- [Fisher and Bennett, 1999] Fisher, R. and Bennett, J. (1999). *The genetical theory of natural selection: a complete variorum edition*. Oxford University Press, USA.

- [Goldberg, 1989] Goldberg, D. (1989). *Genetic algorithms in search, optimization, and machine learning*. Addison-wesley.
- [Haas et al., 1997] Haas, Z., Pearlman, M., and Samar, P. (1997). The zone routing protocol (ZRP) for ad hoc networks. *TERNET DRAFT-Mobile Ad hoc Networking (MANET) Working Group of the bternet Engineering Task Force (ETF), November*.
- [Hiertz et al., 2007] Hiertz, G., Max, S., Zhao, R., Denteneer, D., and Berlemann, L. (2007). Principles of IEEE 802.11 s. In *Computer Communications and Networks, 2007. ICCCN 2007. Proceedings of 16th International Conference on*, pages 1002–1007. IEEE.
- [Hossmann et al., 2008] Hossmann, T., Keller, A., May, M., and Dudler, S. (2008). Implementing the future internet: A case study of pub/sub in ANA. *Proceedings of CFI'08*.
- [Jain, 1991] Jain, R. (1991). *The art of computer systems performance analysis: techniques for experimental design, measurement, simulation, and modeling*. Wiley New York.
- [Jensen et al., 2001] Jensen, C. et al. (2001). Persistent Views-A Mechanism for Managing Aging Data.
- [Jiang et al., 2007] Jiang, L., Cai, Z., Wang, D., and Jiang, S. (2007). Survey of improving k-nearest-neighbor for classification. In *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery, 2007. FSKD 2007. Fourth International Conference on*, volume 1, pages 679–683. IEEE.
- [Johnson and Maltz, 1996] Johnson, D. and Maltz, D. (1996). Dynamic source routing in ad hoc wireless networks. *KLUWER INTERNATIONAL SERIES IN ENGINEERING AND COMPUTER SCIENCE*, pages 153–179.
- [Johnstone, 1998] Johnstone, R. (1998). Game theory and communication. *Game theory and animal behavior*, page 94.
- [Katsuno et al., 2005] Katsuno, Y., Aihara, T., Res, I., and Yamato, J. (2005). Autonomic network configuration for networkable digital appliances. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 51(2):494–500.
- [Keeney et al., 2005] Keeney, J., Carey, K., Lewis, D., O'Sullivan, D., and Wade, V. (2005). Ontology-based semantics for composable autonomic elements. In *Workshop of AI in Autonomic Communications at the Nineteenth International Joint Conference on Artificial Intelligence, Edinburgh, Scotland 30th July*.
- [Kephart et al., 2005] Kephart, J., Center, T., and IBM, H. (2005). Research challenges of autonomic computing. In *Software Engineering, 2005. ICSE 2005. Proceedings. 27th International Conference on on Software Engineering*, pages 15–22.
- [Kephart et al., 2003] Kephart, J., Chess, D., Center, I., and Hawthorne, N. (2003). The vision of autonomic computing. *Computer*, 36(1):41–50.
- [Khan et al., 2002] Khan, M., Ding, Q., and Perrizo, W. (2002). K-nearest neighbor classification on spatial data streams using p-trees. *Lecture notes in computer science*, pages 517–528.

- [Kim and Hong, 2006] Kim, K. and Hong, S. (2006). Vomesh: voice over wireless mesh networks. In *IEEE Wireless Communications and Networking Conference, 2006. WCNC 2006*, pages 193–198.
- [Koksal and Balakrishnan, 2006] Koksal, C. and Balakrishnan, H. (2006). Quality-aware routing metrics for time-varying wireless mesh networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 24(11):1984.
- [Koksal, 2006] Koksal, C.E; Balakrishnan, H. (2006). Quality-Aware Routing Metrics for Time-Varying Wireless Mesh Networks. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, November.
- [KUROSE, 2006] KUROSE, James F; ROSS, K. W. (2006). Redes de computadores e a internet. *Addison-Wesley*.
- [Lee et al., 2007] Lee, M., Marconett, D., Ye, X., and Yoo, S. (2007). Autonomic Reconfiguration Management for Heterogeneous Wireless Networks using Reinforcement Learning. *Opnetwork 2007*.
- [Littman et al., 2004] Littman, M., Ravi, N., Fenson, E., and Howard, R. (2004). Reinforcement learning for autonomic network repair. In *Autonomic Computing, 2004. Proceedings. International Conference on*, pages 284–285.
- [Man et al., 1996] Man, K., Tang, K., and Kwong, S. (1996). Genetic algorithms: concepts and applications [in engineering design]. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 43(5):519–534.
- [Margi et al., 2009] Margi, C., Jr, M., Barreto, P., and Carvalho, T. (2009). Segurança em Redes de Sensores Sem Fio.
- [Mascarenhas et al., 2008] Mascarenhas, D., Rubinstein, M., and Sztajnberg, A. (2008). Uma nova métrica para protocolos de roteamento em redes em malha sem fio. *XXVI SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TELECOMUNICACOES - SBrT 08, 02-05 DE SETEMBRO DE 2008, RIO DE JANEIRO, RJ*.
- [McCanne et al., 2010] McCanne, S., Floyd, S., and Fall, K. (2010). ns2 (network simulator 2). *last accessed: February, 23*.
- [Melcher and Mitchell, 2004] Melcher, B. and Mitchell, B. (2004). Towards an autonomic framework: Self-configuring network services and developing autonomic applications. *Intel Technology Journal*, 8(4):279–290.
- [Mitchell, 1997a] Mitchell, T. (1997a). Learning sets of rules. *Machine Learning*, pages 230–248.
- [Mitchell, 1997b] Mitchell, T. (1997b). Learning sets of rules. *Machine Learning*, pages 274–306.
- [Mortier and Kiciman, 2006] Mortier, R. and Kiciman, E. (2006). Autonomic network management: some pragmatic considerations. In *Proceedings of the 2006 SIGCOMM workshop on Internet network management*, pages 89–93. ACM New York, NY, USA.

- [Munaretto et al., 2003] Munaretto, A., Badis, H., Al Agha, K., and Pujolle, G. (2003). QOLSR: QoS Routing over OLSR protocol. *5ème Rencontres Francophones sur les aspects Algorithmiques des Télécommunications, Banyuls-sur-mer*.
- [Nassif et al., 2005] Nassif, A., Soares, M., et al. (2005). Convergência das redes de comunicação. *Revista de la Facultad de Ingeniería-Universidad de Tarapacá*, 13(2):7.
- [Nassiri et al., 2007] Nassiri, M., Theoleyre, F., Heusse, M., and Duda, A. (2007). Molecular architecture for autonomic wireless mesh networks. In *Proceedings of the 2007 ACM CoNEXT conference*. ACM New York, NY, USA.
- [Nassu et al., 2005] Nassu, B., Junior, D., and Procopio, E. (2005). Descoberta da topologia de redes dinâmicas e descentralizadas com agentes móveis inteligentes. <http://hdl.handle.net/1884/1600>.
- [NS-2, 2010] NS-2 (2010). The Network Simulator - NS-2. Disponível em: <[www.isi.edu/nsnam/ns/](http://www.isi.edu/nsnam/ns/)>.
- [O, 2010] O, T. (2010). OpenWRT Experimental Release.
- [Park et al., 2006] Park, B.-N., Lee, W., Ahn, S., and Ahn, S. (2006). QoS-driven wireless broadband home networking based on multihop wireless mesh networks. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, November.
- [Passos and Albuquerque, 2007] Passos, D. and Albuquerque, C. (2007). Proposta, implementação e análise de uma metrica de roteamento multiplicativa para redes em malha sem fio. *Anais do XXVII Congresso da SBC*, pages 1935–1944.
- [Passos and de Albuquerque, 2007] Passos, D. and de Albuquerque, C. (2007). Proposta, implementação e análise de uma metrica de roteamento multiplicativa para redes em malha sem fio. *Revista Eletronica de Iniciação Científica (REIC)*.
- [Passos et al., 2006] Passos, D., Teixeira, D., Muchaluat-Saade, D., Magalhães, L., and Albuquerque, C. (2006). Mesh network performance measurements. In *International Information and Telecommunicatios Technologies Symposium (I2TS)*.
- [Perkins et al., 2002] Perkins, C. et al. (2002). IP mobility support for IPv4.
- [Pierre and Legault, 2002] Pierre, S. and Legault, G. (2002). A genetic algorithm for designing distributed computer network topologies. *Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics*, *IEEE Transactions on*, 28(2):249–258.
- [Products, 2010] Products, C. C. (2010). CISCO CONNECT SOFTWARE. *Linksys by Cisco's*.
- [Quinlan, 1996] Quinlan, J. (1996). Improved use of continuous attributes in C 4. 5. *Journal of Artificial Intelligence Research*, 4(77-90):325.
- [Ramanathan and Redi, 2002] Ramanathan, R. and Redi, J. (2002). A brief overview of ad hoc networks: challenges and directions. *IEEE Communications Magazine*, 40(5):20–22.
- [ReMesh, 2005] ReMesh (2005). Universidade federal de fluminense. 2005. disponível em: <http://mesh.ic.uff.br>.

- [Richard et al., 2004] Richard, W., Fenner, B., and Rudoff, A. (2004). *UNIX Network Programming: The Sockets Networking API, 3rd Edition*, volume 1. Person Education, Inc. (Bookman).
- [Russell et al., 1995] Russell, S., Norvig, P., Canny, J., Malik, J., and Edwards, D. (1995). *Artificial intelligence: a modern approach*, volume 74. Prentice hall Englewood Cliffs, NJ.
- [S., 2004] S., R. (2004). Nortel's Wireless Mesh Network solution: Pushing the boundaries of traditional WLAN technology. *Nortel Technical Journal, report issue 2,*, page 4.
- [Schuetz et al., 2007] Schuetz, S., Zimmermann, K., Nunzi, G., Schmid, S., and Brunner, M. (2007). Autonomic and Decentralized Management of Wireless Access Networks. *IEEE Transactions on Network and Service Management*, 4(2):96–106.
- [Shenker, 1995] Shenker, S. (1995). Making greed work in networks: a game-theoretic analysis of switchservice disciplines. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 3(6):819–831.
- [STEIN, 2000] STEIN, C. E. (2000). Sistema Especialista Probabilístico: Base de Conhecimento Dinâmica. *Dissertação de Mestrado em Ciências da Computação*.
- [TANEMBAUM, 2003] TANEMBAUM, A. S. (2003). *Redes de Computadores*. Prentice Hall.
- [van der Meer et al., 2007] van der Meer, S., Donnelly, W., Strassner, J., Jennings, B., and Foghlú, M. (2007). Emerging Principles of Autonomic Network Management. *MACE*, 6:29–48.
- [Vicentini et al., 2010] Vicentini, C., de Araujo, R., and Fonseca, M. (2010). Proposta De Uma Métrica de Roteamento Para Redes Wireless Mesh com Tráfego Voip. *Anais do XXVIII Congresso da SBC*, pages 147–156.
- [Wang et al., 2005] Wang, W., Liew, S., and Li, V. (2005). Solutions to performance problems in VoIP over a 802.11 wireless LAN. *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, 54(1):366–384.
- [White et al., 2004] White, S., Hanson, J., Whalley, I., Chess, D., Kephart, J., Center, T., and IBM, W. (2004). An architectural approach to autonomic computing. In *Autonomic Computing, 2004. Proceedings. International Conference on*, pages 2–9.
- [Witten I.H., 2005] Witten I.H., F. E. (2005). *Data mining: practical machine learning tools and techniques*. 2nd ed., Elsevier, Morgan Kaufmann, page 5.
- [Zhang and Fitzek, 2009] Zhang, Q. and Fitzek, F. (2009). Designing Rules for Self-Organizing Protocols for A Cooperative Communication Architecture. *Self-Organizing Systems: New Trends in Architectures and Performance Modeling*, page 4.
- [Zimmermann et al., 2006] Zimmermann, K., Felis, S., Schmid, S., Eggert, L., and Brunner, M. (2006). Autonomic wireless network management. *Autonomic Communication*, pages 57–70.

# Apêndice A

## Informações complementares sobre parâmetros da simulação - NS-2

### A.1 Parâmetros de posicionamento dos nós

```
1 #positions
2 node_(1) set X_ 160.0 #BLOCO_AMARELO
3 node_(1) set Y_ 485.0
4 node_(1) set Z_ 15.0
5 node_(2) set X_ 305.0 #BIBLIOTECA
6 node_(2) set Y_ 277.0
7 node_(2) set Z_ 15.0
8 node_(3) set X_ 340.0 #PREDIO_ADM
9 node_(3) set Y_ 226.0
10 node_(3) set Z_ 15.0
11 node_(4) set X_ 270.0 #GINASIO
12 node_(4) set Y_ 32.0
13 node_(4) set Z_ 15.0
14 node_(5) set X_ 476.0 #BLOCO_LARANJA
15 node_(5) set Y_ 200.0
16 node_(5) set Z_ 15.0
17 node_(6) set X_ 628.0 #BLOCO_AZUL
18 node_(6) set Y_ 320.0
19 node_(6) set Z_ 15.0
20 node_(7) set X_ 570.0 #BLOCO_VERDE
21 node_(7) set Y_ 440.0
22 node_(7) set Z_ 15.0
23 node_(8) set X_ 780.0 #BLOCO_VERMELHO
24 node_(8) set Y_ 480.0
25 node_(8) set Z_ 15.0
26 node_(9) set X_ 918.0 #PARQUE_TECNOLOGICO
27 node_(9) set Y_ 597.0
28 node_(9) set Z_ 15.0
29 node_(10) set X_ 968.0 #PPGIA
30 node_(10) set Y_ 550.0
31 node_(10) set Z_ 15.0
```

## A.2 Parâmetros de tráfego UDP

```

1
2 # setup UDP connection
3 #####
4 # FLUXO 2
5 # 1 -> 6 6 ->1
6 #####
7
8 # BLOCO_AMARELO -> PPGIA
9 set udp [new Agent/UDP]
10 udp set class_ 1
11 set null [new Agent/Null]
12 ns_ attach-agent node_(1) udp
13 ns_ attach-agent node_(6) null
14 ns_ connect udp null
15 udp set fid_ 1
16
17 set cbr [new Application/Traffic/CBR]
18 cbr set packetSize_ 40 # RTP + UDP + Payload
19 cbr set rate_ 8Kb
20 cbr attach-agent udp
21 ns_ at 5.0 "cbr start"
22 ns_ at 55.0 "cbr stop"
23
24 #PPGIA -> BLOCO_AMARELO
25 set udp1 [new Agent/UDP]
26 udp1 set class_ 2
27 set null1 [new Agent/Null]
28 ns_ attach-agent node_(6) udp1
29 ns_ attach-agent node_(1) null1
30 ns_ connect udp1 null1
31 udp1 set fid_ 2
32
33 set cbr1 [new Application/Traffic/CBR]
34 cbr1 set packetSize_ 40 # RTP + UDP + Payload
35 cbr1 set rate_ 8Kb
36 cbr1 attach-agent udp1
37 ns_ at 5.0 "cbr1 start"
38 ns_ at 55.0 "cbr1 stop"

```

## A.3 Parâmetros de tráfego background

```

1 # configurando trafego de background - pareto
2 #
3 # BIBLIOTECA -> BLOCO_VERMELHO
4 set tcp [new Agent/TCP]
5 tcp set class_ 17
6 set sink [new Agent/TCPSink]
7 ns_ attach-agent node_(2) tcp
8 ns_ attach-agent node_(8) sink
9 ns_ connect tcp sink
10 tcp set fid_ 17

```

```

11
12 set p [new Application/Traffic/Pareto]
13 p set packetSize_ 210
14 p set burst_time_ 500ms
15 p set idle_time_ 500ms
16 p set rate_ 200k
17 p set shape_ 1.5
18 p attach-agent tcp
19 ns_ at 6.0 "p start"
20 ns_ at 45.0 "p stop"
21
22 # GINASIO -> PARQUE_TECNOLOGICO
23 set tcp1 [new Agent/TCP]
24 tcp1 set class_ 18
25 set sink1 [new Agent/TCPSink]
26 ns_ attach-agent node_(4) tcp1
27 ns_ attach-agent node_(9) sink1
28 ns_ connect tcp1 sink1
29 tcp1 set fid_ 18
30
31 set p1 [new Application/Traffic/Pareto]
32 p1 set packetSize_ 210
33 p1 set burst_time_ 500ms
34 p1 set idle_time_ 500ms
35 p1 set rate_ 200k
36 p1 set shape_ 1.5
37 p1 attach-agent tcp1
38 ns_ at 8.0 "p1 start"
39 ns_ at 45.0 "p1 stop"

```

## A.4 Parâmetros da tabela de aprendizado para KNN

A primeira linha contém o número de linhas da tabela e a segunda o número de fatores a serem considerados, sendo que para este trabalho foram utilizados 4 fatores, destacados como na primeira coluna o fator do percentual relativo a qualidade do link direto, a segunda coluna o fator relativo a qualidade do link reverso, a terceira coluna relativa ao percentual da taxa de utilização da fila e a quarta coluna o percentual relativo a taxa de erros. Por fim, na quinta coluna, o custo relativo aos dados das colunas anteriores. A tabela utilizada contém um total de 3010 linhas com informações de aprendizado.

```

1 3010
2 4
3 0.0000 0.0000 1.0000 0.0000 100.0000
4 0.0000 0.0000 1.0000 0.7800 100.0000
5 0.0000 0.0000 1.0000 0.9800 100.0000
6 0.0000 0.1000 1.0000 0.9800 100.0000
7 0.0000 0.2000 1.0000 0.9800 100.0000
8 0.0000 0.3000 1.0000 0.9800 100.0000
9 0.0000 0.4000 1.0000 0.9800 100.0000
10 0.0000 0.5000 1.0000 0.9800 100.0000
11 0.0000 0.6000 1.0000 0.9800 100.0000
12 0.0000 0.7000 1.0000 0.9800 100.0000
13 0.0000 0.1000 1.0000 0.9600 100.0000

```

14	0.0000	0.2000	1.0000	0.9600	100.0000
15	0.0000	0.3000	1.0000	0.9600	100.0000
16	0.0000	0.4000	1.0000	0.9600	100.0000
17	0.0000	0.5000	1.0000	0.9600	100.0000
18	...				
19	.				
20	.				
21	0.7000	0.6000	0.0000	0.1200	2.4000
22	0.7000	0.6000	0.0000	0.0600	2.4000
23	0.7000	0.6000	0.0000	0.0400	2.4000
24	0.7000	0.6000	0.0000	0.0200	2.4000
25	0.7000	0.6000	0.0000	0.0000	2.4000
26	0.9000	0.5000	0.0000	0.8800	2.2000
27	0.9000	0.5000	0.0000	0.0000	2.2000
28	0.6000	0.8000	0.0000	0.9800	2.1000
29	0.6000	0.8000	0.0000	0.9400	2.1000
30	0.6000	0.8000	0.0000	0.3000	2.1000
31	0.6000	0.8000	0.0000	0.0000	2.1000
32	0.8000	0.6000	0.0000	0.9400	2.1000
33	0.8000	0.6000	0.0000	0.5800	2.1000
34	0.8000	0.6000	0.0000	0.3000	2.1000
35	0.8000	0.6000	0.0000	0.1600	2.1000
36	0.8000	0.6000	0.0000	0.0400	2.1000
37	0.8000	0.6000	0.0000	0.0200	2.1000
38	0.8000	0.6000	0.0000	0.0000	2.1000
39	0.7000	0.7000	0.0000	0.9800	2.0000
40	0.7000	0.7000	0.0000	0.9400	2.0000
41	0.7000	0.7000	0.0000	0.0200	2.0000
42	0.7000	0.7000	0.0000	0.0000	2.0000
43	0.6000	0.9000	0.0000	0.9400	1.8000
44	0.6000	0.9000	0.0000	0.0000	1.8000
45	0.9000	0.6000	0.0000	0.9800	1.8000
46	0.9000	0.6000	0.0000	0.3000	1.8000
47	0.9000	0.6000	0.0000	0.1400	1.8000
48	0.9000	0.6000	0.0000	0.0400	1.8000
49	0.9000	0.6000	0.0000	0.0000	1.8000
50	0.7000	0.8000	0.0000	0.9400	1.5000
51	0.7000	0.8000	0.0000	0.0000	1.5000
52	0.8000	0.7000	0.0000	0.6000	1.5000

## A.5 Metodologia de análise para avaliar a relevância de mobilidade

De forma a analisar o desenvolvimento de trabalhos com redes sem fio, avaliando sua relevância, podem se utilizar seis critérios em quatro níveis dentro da rede [Duarte, 2008]. Estes critérios são relacionados à dispositivo adicional, transparência, latência, macro-mobilidade, custo e time-to-market conforme a tabela A.5, analisando conforme os níveis de rede de acesso, níveis de camadas de rede, transporte e aplicação, podendo também ser analisado em nível de enlace, sendo capaz de ser analisado através de diversos programas como tcpdump [Richard et al., 2004]. Os resultados esperados devem ser destacados por diversos testes para WMN's onde deve ser possível:

- Implementar algoritmos de roteamentos distintos através da utilização de EA's
- Monitorar o seu funcionamento.
- Obter medidas de desempenho sobre os critérios citados.

Tabela A.1: Modelo de avaliação através de comparação de tipos de soluções à mobilidade [Duarte, 2008].

<b>Critério/ Níveis</b>	Rede de Acesso	Nível de Rede	Nível de Transporte	Nível de Aplicação
Dispositivo Adicional	--	--	--	--
Transparência	--	--	--	--
Latência	--	--	--	--
Macro-Mobilidade	--	--	--	--
Custo	--	--	--	--
Time To Market	--	--	--	--

O primeiro critério corresponde à necessidade de utilizar dispositivos adicionais que sirvam de apoio à solução, como home agent no IP Móvel apresentado no capítulo 2. No caso de soluções que envolvem apenas rede de acesso, normalmente reutilizam a infraestrutura de acesso para suporte à mobilidade, por outro lado, as soluções de nível de Rede necessitam que equipamentos externos à estrutura da rede de acesso sejam utilizados para ponto de apoio. Os demais tipos de soluções podem ou não utilizar um ponto de apoio.

O segundo critério é referente à transparência em relação aos problemas de mobilidade de clientes. Este critério avalia a capacidade da rede de acesso na proteção do usuário em virtude dos problemas de mobilidade, sem a necessidade de reconfiguração dos dispositivos portáteis. As soluções para aplicações podem ser adotadas de forma gradativa, priorizando as aplicações com maior vantagens do suporte a mobilidade, como as aplicações VoIP.

O terceiro critério é o de latência que corresponde ao tempo necessário para a tomada das conexões ativas quando é realizada uma troca de ponto de acesso. Soluções de redes de acesso, por envolverem o meio de transmissão, são capazes de detectar e reagir ao evento de mobilidade mais rapidamente, ao contrário das soluções de rede, que tem maior dificuldade em detectar o evento de mobilidade sem prejudicar o desempenho da camada de transporte. Porém, as soluções no nível de transporte podem ser adaptadas para tolerarem e se readequarem aos eventos de mobilidade. E no nível de aplicação, adaptar o serviço oferecido ao usuário para tratar estas modificações na conexão em virtude da mobilidade.

O quarto critério refere-se a Macro-Mobilidade, o qual é vital para este cenário, uma vez que este tipo de solução é normalmente específica de cada rede de acesso, sendo que redes mesh podem apresentar uma cobertura sobre extensas áreas.

O quinto critério avalia o custo direto sobre o critério de transparência, onde é atendido melhor pelas soluções nas redes de acesso, uma vez que não se faz necessária nenhuma alteração nos dispositivos clientes. O pior tipo neste critério deve apresentar-se no nível da aplicação que devem ser replicadas a cada aplicação.

O sexto critério analisa o time-to-market, o qual refere-se ao tempo necessário para que as soluções sejam implementadas e colocadas em atividade.

Para uma implementação futura em um cenário de redes sem fio estes critérios devem ser avaliados de forma comparativa entre diferentes protocolos ou métricas.

## **A.6 Soluções de código aberto (OpenSource) para implementação**

No contexto atual, as redes sem fio em malha despontam como uma tecnologia que permite ultrapassar as limitações geográficas proporcionando mobilidade em baixo custo. Para construção da WMN, existem diversas soluções proprietárias que não permitem manipulação dos protocolos de comunicação, sendo de pouco valor para trabalhos de pesquisa. Contudo, existem soluções open-source que disponibilizam suporte à execução de WMN's. Dentre estas soluções temos destaque em Open-Mesh([www.open-mesh.com](http://www.open-mesh.com)) e outra solução baseada em distribuição Linux para redes em malha, o OpenWRT ([www.openwrt.org](http://www.openwrt.org)).

### **A.6.1 Padrão de rede e firmware para implementação - Mesh**

A forma de acesso ao meio entre os nós será feito segundo a arquitetura IEEE 802.11, utilizando a faixa de frequência wifi (2,4 GHz), que é também conhecida como ISM (Industrial, Scientific and Medical). É uma frequência aberta, não sendo necessária concessão pela ANATEL, além de não interferir em outros serviços de transmissão disponíveis como sinais de TV e rádio. Para os usuários o acesso é feito de maneira tradicional, através de placas com padrão ethernet. Com isto, o processo de instalação e utilização torna-se viável a um número maior de usuários que já utilizam dispositivos móveis. Quanto a utilização de software, o roteador de rede Mesh é construído a partir de uma inserção de imagem compilada do sistema operacional (Firmware) OpenWRT na memória RAM do roteador. Este firmware já contém as principais ferramentas e scripts a serem utilizados, sendo necessário somente a instalação do protocolo de roteamento OLSR e pacote wifidog para controle de acesso a rede mesh (ferramenta de livre distribuição), e ferramentas de medição extras (iperf).

# Apêndice B

## Alterando Firmware em AP

O texto descrito tem por objetivo complementar o trabalho apresentando formas de atuação dos serviços, demonstrando inclusive alguns modelos de procedimentos que podem ser utilizados para a aplicação prática em trabalhos futuros. O texto é descrito em <http://www.aprouter.com.br>.

### B.1 Sistema MESH Utilizando OLSRD

A versão apresentada nas próximas seções tem suporte ao sistema MESH utilizando o programa OLSRD (<http://olsr.org>). O arquivo de configuração a ser editado é: `/etc/olsrd.conf`. Este arquivo já está pré-configurado por default. Para se utilizar o sistema MESH, seu rádio deve estar configurado como CLIENTE AD-HOC.

### B.2 Requisitos para Versão 5.3b

### B.3 Recursos

- Equipamentos com chipset Realtek RTL 8186
- Mínimo de 16 Mbytes Ram e 2 Mbytes Flash

=> CHANGELOG EM RELAÇÃO À VERSÃO 5.3a  
Correção no sistema de controle de banda

### B.4 Recursos

- Suporte ao MESH (OLSR): <http://www.olsr.org>
- SSH Cliente
- Edição de Script pessoal `/etc/script.sh` via web
- Seleção de Região de Domínio via WEB (11 ou 14 canais)

- Edição do arquivo `/etc/ethers` via web
- Controle de potência
- Utilitário `Iptraf`
- Utilitário `tcpdump`
- Acesso remoto via `SSH2`
- Suporte a agendamento de tarefas pelo `Cron`
- Prende o `MAC` ao `IP` e fornece `ip` estaticamente baseado no `MAC`
- Liberdade para escrever seus próprios scripts
- Grupos de Controle de Banda, com rate mínimo garantido por membros do grupo
- `Watchdog` por `IP`
- `Block Relay`
- `PPPoE Relay`
- `DHCP Relay`
- Assistente de configuração
- `Auto Discovery Tool`
- 3 Modos de Operação: `WISP`, `Gateway` e `Bridge`
- Controle de banda por interface, por endereço `IP` ou `MAC` (por `HTB`)
- Criptografia `WEP`
- Autenticação `802.1x`, `WPA` e `Radius`
- Filtro de `mac`, `ip`, portas...
- `DMZ Host`
- `PPPoE-Cliente` em todas as interfaces
- `PPTP Protocol`
- `DDNS Protocol`
- `IAPP Protocol`
- Oculta o `SSID` evitando ser descoberto por scanners simples
- Todo controle via `WEB`
- Medidor de sinal

- Watchdog de hardware
- Opera como AP, Cliente, WDS+AP, WDS e Ad Hoc
- Site Survey
- Servidor DHCP
- DHCP Cliente
- Até 5 IP Alias em cada interface
- Spanning Tree Protocol
- Permite a troca da porta do Servidor WEB
- Proteção contra gerenciamento via WAN
- Proteção 802.11g
- Clonagem de MAC (para somente um cliente)
- Permite envio de comandos via interface WEB
- Log do sistema (local e remoto)

## **B.5 Modelos Testados**

Segundo os fabricantes, todos os equipamentos com RTL8186 podem funcionar com o firmware. Contudo somente foram testados os seguintes:

- WAP 253
- WAP 254
- Kodama KOD-770
- Zinwell G-120 e G-120 plus (Requer firmware específico)
- Realsat 5209Apg (Requer firmware específico)
- Edimax 7209 Apg (Requer firmware específico)
- GI-Link b/g
- Alfa AIP-W606F
- Alfa AIP-W608

## B.6 Notas de Versão

Esta versão de firmware possui 4 variantes principais, uma para cada modelo de rádio:

- ita18186v5.3-ptbr-wap253.bin; A ser usado no modelo Abocom WAP 253.
- ita18186v5.3-ptbr-g120.bin; A ser usado nos modelos Zinwell G120 e Zinwell G120 Plus.
- ita18186v5.3-ptbr-realsat.bin; A ser usado nos modelos Edimax 7209 e Realsat 5209.
- ita18186v5.3-ptbr.bin; Versão genérica para hardwares de 5 portas ethernet, como o Kodama, WR 254 e GI-Link.

Existem também, versões especiais contendo SNMP e VPN com o programa VTUN.

## B.7 Controle de Potência

O controle de potência está atualmente testado nos modelos ( WAP 253, WR 254, Zinwell G120, Realsat 5209Apg, Edimax 7209) para 100mW. O controle de potência somente tem influência sobre o modo 802.11b. Somente os modelos WAP 253, Edimax 7209 e Realsat 5209Apg podem chegar aos 24-26dbm (250-400mW). O modelo WR 254 chegou ao máximo de 23dbm (200mW). Ainda não se sabe se todos os lotes de hardware permitem tal potência. Os testes de potência realizados foram baseados em comparação do WAP 253 e sua potência padrão de 18dbm (63mW), através do programa Client Manager da Orinoco. O modelo Zinwell G120 plus já possui a potência de 250mW por HARDWARE. Não é recomendado trabalhar com alta potência no rádio, uma vez que pode causar aquecimento e/ou diminuir a vida útil do equipamento.

## B.8 Notas sobre o Modelo de Operação

- Existem 3 modos de operação no equipamento:

GATEWAY BRIDGE CLIENTE ISP

– Modo Gateway: - Neste modo, as interfaces ETH0 + Wireless passam a ser o segmento LAN. A WAN ficará por conta da ETH1.

– Modo Bridge: - Neste modo, todas as interfaces ( ETH1 + ETH1 + Wireless ) serão pertencentes a br0, não havendo portanto, opções de roteamento e firewall.

– Modo Cliente ISP: - Neste modo, as interfaces ETH0 + ETH1 passam a ser o segmento LAN. A WAN ficará por conta da Wireless.

## B.9 Controle de Banda

O controle de banda é feito através do menu Controle de Banda, via interface WEB ou por edição do arquivo /etc/cbu.conf via terminal SSH. Para limitar todo e qualquer tráfego de dados, habilite o controle por Interface. Para controlar determinados endereços IPs, habilite o controle de banda por endereçamento IP.

NOTA: O controle de banda NÃO irá atuar nas conexões em WDS.

Exemplos:

CASO 1:

No caso de instalação de um equipamento em um cliente de Internet, que tenha uma velocidade máxima de Download de 256Kbits e uma velocidade máxima de Upload de 128kbits, entre no menu de Limitação de banda por interface, habilite o controle de banda e coloque os seguintes valores: Saida da Interface LAN 256 Saida da Interface WAN 128

Visto que o sistema de controle de banda atua na SAÍDA DE DADOS da interface, o controle de Download do cliente será a saída do segmento LAN. A grande vantagem do controle de banda por interface, é o fato de controlar TODO E QUALQUER tráfego de dados, NÃO IMPORTANDO SE O NAT ESTÁ ATIVADO OU DESATIVADO!

CASO 2:

No caso de instalação de um equipamento em um condomínio, e deseja controlar a velocidade de cada apartamento, entre no menu de Limitação de banda por IP, habilite o controle de banda e coloque o endereço IP do cliente a ser controlado bem como as velocidades máximas permitidas. Nesta situação, o DOWNLOAD dos clientes será limitado pela segmento LAN e o UPLOAD será limitado pela interface WAN. Para SOMENTE liberar o tráfego de dados para os ips/mac's cadastrados na lista de controle de banda, habilite a opção de firewall neste mesmo menu. Neste caso, o firewall irá bloquear o tráfego de dados para os IPS que não estão na lista de controle. NOTE QUE O CONTROLE DE BANDA POR INTERFACE DEVE ESTAR DESATIVADO! PARA QUE O FIREWALL FUNCIONE É NECESSÁRIO QUE O NAT OU ROTEAMENTO ESTEJA HABILITADO, ou seja, o equipamento deve estar operando em modo WISP ou GATEWAY!

CASO 3:

No caso de instalação de um equipamento em modo ACCESS POINT, deseja controlar a banda de seus clientes, permitir que seus clientes recebam o endereço IP via DHCP e permitir que somente os MACs cadastrados naveguem na Internet, faça o seguinte: Habilite o controle de banda por MAC, cadastre os MACs dos clientes via rádio com sua devida velocidade de acesso, habilite o modo GATEWAY e habilite o Servidor DHCP do equipamento. Somente os MACs cadastrados no controle de banda, poderão navegar na Internet e seus clientes receberão os IPs via DHCP.

## **B.10 Utilizando Controle de Banda com Grupos de QoS**

Grupos de QoS são usados para limitar um grupo de usuários a uma determinada velocidade máxima de acesso.

Exemplo:

No caso de instalação de um equipamento em um condomínio, onde uma pessoa tem dois computadores em casa e deseja acessar a Internet, com seus dois computadores. Esta pessoa, possui um plano de acesso de 256Kbps. Neste mesmo condomínio, temos outros usuários que utilizam a Internet e tem seus planos de acesso distintos. Como fazer, para que a pessoa em questão, utilize seus dois computadores e limitar o acesso a uma velocidade máxima de 256Kbps. Criando-se um GRUPO DE QOS.

Vá para o menu controle de banda e habilite a opção "Ativar Grupos de QoS". Entre com o ID do Grupo (valor numérico maior que 0 e menor do que 40) e coloque suas devidas velocidades de LAN/WAN. Neste caso caso: ID do Grupo=1 Saída LAN=256 Saída WAN=256 Após, coloque no controle de banda por IP/MAC os dois endereços IP/MAC dos computadores

pertencentes ao cliente em questão. No campo ID do Grupo, coloque o ID do grupo criado para estes dois computadores, no nosso exemplo 1. Primeira Máquina do Cliente: ID do Grupo=1 -> Grupo criado no exemplo IP=xxx.xxx.xxx.xxx ou MAC=xxxxxxxxxxxx Saída LAN= 0 -> QUANDO 0, SIGNIFICA IGUAL DIVISÃO DE BANDA DO GRUPO Saída WAN= 0

Segunda Máquina do Cliente: ID do Grupo=1 -> Grupo criado no exemplo IP=xxx.xxx.xxx.xxx ou MAC=xxxxxxxxxxxx Saída LAN= 0 Saída WAN= 0

Outr cliente qualquer: ID do Grupo=0 -> Não pertence a um grupo específico IP=xxx.xxx.xxx.xxx ou MAC=xxxxxxxxxxxx Saída LAN= 256 Saída WAN= 256

Neste exemplo, é criado um Grupo com velocidade de 256Kbps, e acrescentado nele, os endereços participantes desse grupo. Dessa forma, garantidos que os participantes desse grupo, juntos, não passarão de 256Kbps. O valor de Saída LAN e saída WAN, quando "0", significa que os clientes irão dividir a banda do grupo igualmente. Para garantir uma velocidade mínima para um membro do grupo, basta colocar o valor desejado na saída LAN e WAN.

Exemplo: Deseja-se que a primeira máquina do cliente em questão, tenha no mínimo 200 kbit. No exemplo anterior, divide-se a banda do grupo (256 kbit) igualmente entre a máquina 1 e máquina 2. Agora, deve-se garantir pelo menos 200 kbit para máquina 1 e o restante para máquina 2 (o restante será 56kbit). Ambos os valores de saída devem ser diferentes de 0 para a garantia de velocidade.

Primeira Máquina do Cliente:

- ID do Grupo=1 -> Grupo criado no exemplo
- IP=xxx.xxx.xxx.xxx ou MAC=xxxxxxxxxxxx
- Saída LAN= 200 -> AQUI, ESTAMOS GARANTINDO UM MÍNIMO DE 200Kbit NA SAIDA LAN
- Saída WAN= 200 -> AQUI, ESTAMOS GARANTINDO UM MÍNIMO DE 200kbit NA SAIDA WAN

Segunda Máquina do Cliente:

- ID do Grupo=1 -> Grupo criado no exemplo
- IP=xxx.xxx.xxx.xxx ou MAC=xxxxxxxxxxxx
- Saída LAN= 0
- Saída WAN= 0

Os Hardwares com chipset RTL8186 possuem 2 interfaces de rede independentes, portanto, para o correto funcionamento do sistema em grupos, todos os clientes pertencentes a um mesmo grupo devem estar fisicamente conectados na mesma interface de rede do equipamento, pois o controle de banda atua na saída de pacotes de cada interface.

## B.11 Garantindo Banda em Sistema VOIP com Grupos de QoS

Uma função muito interessante seria garantir uma quantidade de banda para um aparelho de Voip, por exemplo. Este efeito é facilmente alcançado utilizando o sistema de Grupos de QoS descrito acima!

Exemplo: Desejando que um equipamento Voip, que possui o IP 192.168.2.100 por exemplo, tenha pelo menos 64kbit de banda GARANTIDA. Suponhamos ainda, que tenhamos um link de 256kbit. Este link de internet alimenta toda uma rede de computadores, por exemplo de uma empresa ou residência.

Configurações do Grupo: ID do Grupo = 1 → ID do nosso grupo Saída LAN = 256 → nosso link de internet de 256kbit Saída WAN = 256 → nosso link de internet de 256kbit

Até agora, criamos um grupo com velocidade máxima a do nosso link, de 256kbit.

Configurações do controle de banda por IP: ID do grupo=1 → ID do grupo acima criado IP = 192.168.2.100 → IP do nosso Voip Saída LAN = 64 → Velocidade mínima garantida de 64kbit Saída WAN = 64 → Velocidade mínima garantida de 64kbit

Neste momento, deve-se reservar uma banda de 64 kbit para o Voip, dos 256kbit disponíveis.

Continuação das configurações do controle de banda por IP: ID do grupo=1 → ID do grupo acima criado IP = 0.0.0.0 → 0.0.0.0 = Qualquer endereço IP Saída LAN = 0 → Banda restante calculada automaticamente Saída WAN = 0 → Banda restante calculada automaticamente

Agora, deve ser criada uma regra dizendo para o sistema que qualquer outro enredoço IP estará pegando a banda restante. Como foi reservado 64k para o Voip, tem-se então para o restante da rede  $256 - 64 = 192$ kbit.

Importante notar o seguinte: Quando o voip não estiver sendo usado, a rede passará a usar toda banda disponível do grupo, que é de 256kbit. A partir do momento que o Voip entrar em ação, o QoS irá sempre garantir uma banda para o Voip e o restante da rede irá compartilhar os outros.

## B.12 Controle de Banda por Edição de Arquivo

Esta versão permite um número ilimitado de clientes a serem controlados por IP e/ou MAC, através da edição do arquivo `/etc/cbu.conf`. Este arquivo possui a mesma sistemática adotada pelo controle de banda via WEB. Após editar este arquivo com suas novas entradas, você deverá executar estes comandos, nesta ordem, para ativar e salvar as alterações:

```
> salvar > /bin/cbu.sh > /bin/firewall.sh
```

Deve-se atentar para a tivação do controle de banda via interface WEB.