

JASMINE PRISCYLA LEITE DE ARAÚJO

ESTRATÉGIA DE PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS SEM FIO,
CONSIDERANDO REDES INTERFERENTES: ABORDAGEM BASEADA EM *CROSS-
LAYER*

TD 06/2011

JASMINE PRISCYLA LEITE DE ARAÚJO

ESTRATÉGIA DE PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS SEM FIO,
CONSIDERANDO REDES INTERFERENTES: ABORDAGEM BASEADA EM *CROSS-
LAYER*

Tese de doutorado submetida à banca examinadora do Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará como requisito para a obtenção do título de Doutora em Engenharia Elétrica na área de computação aplicada.

**“ESTRATÉGIA DE PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS SEM FIO,
CONSIDERANDO REDES INTERFERENTES: ABORDAGEM BASEADA EM CROSS-
LAYER”**

AUTOR: JASMINE PRISCYLA LEITE DE ARAÚJO.

TESE DE DOUTORADO SUBMETIDA À BANCA EXAMINADORA APROVADA PELO COLEGIADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA, SENDO JULGADA ADEQUADA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTORA EM ENGENHARIA ELÉTRICA NA ÁREA DE CONCENTRAÇÃO DE COMPUTAÇÃO APLICADA.

APROVADA EM: 30 / 06 / 2011

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Carlos Renato Lisboa Francês

(Orientador – PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar

(Membro Externo – LAC/INPE)

Prof. Dr. Solon Venâncio de Carvalho

(Membro Externo – LAC/INPE)

Prof. Dr. Gervásio Protásio dos Santos Cavalcante

(Membro - PPGEE/UFPA)

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

(Membro – PPGEE/UFPA)

VISTO:

Prof. Dr. Evaldo Gonçalves Pelaes

(Coordenador do PPGEE/ITEC/UFPA)

A Deus, pois suas misericórdias se renovam a cada manhã.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me dado conhecimento e colocado todas as pessoas abaixo no meu caminho.

Meu marido e filhos, a família que constitui.

Aos meus pais e irmãos, que sempre me apoiaram em tudo. Em especial à minha mãe por seu exemplo de dedicação à família, e por tomar conta dos meus filhos para que eu possa trabalhar e estudar.

Ao Prof. Carlos Renato Lisboa Francês, por sua orientação, confiança e paciência, mostrando não ser apenas um orientador, mas também um amigo que está disposto a ajudar.

Ao Prof. Gervásio Protásio Cavalcante, por sua amizade e por valiosas contribuições.

Aos amigos Simone Fraiha, Josiane Rodrigues, Hermínio Gomes, Aldebaro Klautau e Claudomiro, sem a ajuda de vocês eu não teria conseguido terminar. Aos amigos do LPRAD: Ádamo Santana, Diego Lisboa, Edvar da Luz Oliveira, Jorge Rocha, Liviane Rêgo, Marcos Seruffo, Nei Oliveira e Marcelino Silva, por sua ajuda valiosa também na escrita desta dissertação. Aos amigos Vinicius, Roberto, Dilermando e Liane pelas trocas de experiências, auxílios e resolução de erros na utilização do \LaTeX .

Todos os demais profissionais do programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará.

Porque o Senhor dá a sabedoria, e da sua boca
é que vem o conhecimento e o entendimento.
Provérbios 2:6(NTLH)

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	xi
LISTA DE SIGLAS.....	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO 1.....	1
INTRODUÇÃO	1
1.1 <i>Motivação/objetivo</i>	<i>1</i>
1.2 <i>Hipótese</i>	<i>6</i>
1.3 <i>Objetivo central</i>	<i>6</i>
1.4 <i>Organização do Trabalho.....</i>	<i>7</i>
CAPÍTULO 2.....	8
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: REDES LOCAIS SEM FIO.....	8
2.1 <i>Considerações Iniciais.....</i>	<i>8</i>
2.2 <i>A arquitetura 802.11</i>	<i>9</i>
2.3 <i>Características de enlaces e redes sem fio</i>	<i>12</i>
2.4 <i>Taxa adaptativa do padrão 802.11.....</i>	<i>15</i>
2.5 <i>O protocolo MAC 802.11 e camada PHY.....</i>	<i>16</i>
2.5.1.1 <i>Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS).....</i>	<i>18</i>
2.5.1.2 <i>Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)</i>	<i>20</i>
2.5.1.3 <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM).....</i>	<i>22</i>
2.5.2 <i>Camada de Acesso ao Meio (MAC).....</i>	<i>23</i>
2.6 <i>Padrão 802.11a</i>	<i>26</i>
2.7 <i>Padrão 802.11b</i>	<i>27</i>
2.8 <i>Padrão 802.11g</i>	<i>28</i>
2.9 <i>Considerações Finais</i>	<i>30</i>
CAPÍTULO 3.....	32
TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL PARA APOIAR A ABORDAGEM PROPOSTA.	32
3.1 <i>Considerações Iniciais.....</i>	<i>32</i>
3.2 – <i>Processo de Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados - Knowledge Discovery Database (KDD)</i>	<i>33</i>
3.3 – <i>Algoritmos de Inteligência Computacional</i>	<i>39</i>
3.3.1 – <i>Redes Bayesianas.....</i>	<i>41</i>
3.3.1.1 – <i>Construção de Redes Bayesianas.....</i>	<i>43</i>

3.3.1.2 - Aprendizado de Redes Bayesianas	44
3.3.1.3 - Aprendizado da Estrutura de Redes Bayesianas	45
3.3.2 – Algoritmos Genéticos.....	50
3.3.2.1 - Terminologia	51
3.3.2.2 – Representação.....	52
3.3.2.3 - População Inicial	52
3.3.2.4 - Avaliação e Seleção.....	53
3.3.2.5 - Operador de Crossover	55
3.3.2.6 - Operador de Mutação	58
3.3.3 Otimização por Enxame de Partículas	59
3.4 – Considerações Finais	62
CAPÍTULO 4.....	64
TRABALHOS CORRELATOS	64
4.1 Considerações Iniciais.....	64
4.2 WLAN (meio físico e enlace)	64
4.3 Cross-layer	66
4.4 Suporte à decisão para planejamento.....	66
4.4.1 Simulação, modelos analíticos e aferição	66
4.4.2 Inteligência Computacional	68
4.5 Considerações Finais	69
CAPÍTULO 5.....	71
ESTRATÉGIA DE PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS SEM FIO, CONSIDERANDO REDES INTERFERENTES: ABORDAGEM BASEADA EM CROSS-LAYER	71
5.1 Considerações Iniciais.....	71
5.2 Metodologia Proposta	73
5.2.1 Medições.....	79
5.2.2 Caracterização do tráfego da aplicação.....	85
5.2.3 Estabelecimento de Correlações	87
5.2.4 Otimização	104
5.3 Considerações Finais	114
CAPÍTULO 6.....	115
CONCLUSÕES	115
6.1 Considerações Iniciais.....	115
6.2 – Principais Contribuições Realizadas.....	115
6.3 - Dificuldades Encontradas	117
6.4 - Trabalhos Futuros.....	117
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	119

APÊNDICE A	124
<i>PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA</i>	<i>124</i>

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Percentual de empresas com rede no Brasil (CGI, 2011)	2
Figura 1.2 Média do percentual de crescimento do número de redes no Brasil.....	2
Figura 1.3 QoE e QoS (ZAPATER; BRESSAN, 2007).....	4
Figura 1.4 Medidas de perda de pacotes com a distância.....	6
Figura 2.1 Rede <i>Ad-hoc</i> (KUROSE; ROSS, 2006)	10
Figura 2.2 Rede infra-estruturada (KUROSE; ROSS, 2006)	10
Figura 2.3 Taxa de erro de bits, taxa de transmissão e SNR	14
Figura 2.4 Problema do terminal oculto (a) e do desvanecimento (b)	15
Figura 2.5 Camadas do padrão IEEE 802.11 (SCHILLER, 2003).....	17
Figura 2.6 Pilha de Protocolos 802.11(SCHILLER, 2003).....	18
Figura 2.7 Representação do processo de espalhamento com existência de ruído.....	19
Figura 2.8 Três canais na banda 2,4GHz.....	20
Figura 2.9 Representação de FHSS	21
Figura 2.10 Representação de FHSS para mais que uma seqüência.	21
Figura 2.11 802.11 usa reconhecimentos na camada de enlace	25
Figura 2.12 Taxa de dados teórica de um PA 802.11a (DÍAZ; DÍAZ, 2006)	27
Figura 2.13 Taxa de dados teórica de um PA 802.11b (DÍAZ; DÍAZ, 2006).....	28
Figura 2.14 Taxa de dados teórica de um PA 802.11g (DÍAZ; DÍAZ, 2006).....	29
Figura 3.1 - Principais tarefas de mineração de dados (REZENDE, 2003)	34
Figura 3.2 - Principais tarefas de mineração de dados (REZENDE, 2003)	36
Figura 3.3 - Os três principais passos para a manipulação de incerteza com técnicas de inteligência computacional	38
Figura 3.4 - Exemplo de uma rede Bayesiana (HECKERMAN, 1997).....	42
Figura 3.5 - Algumas estruturas possíveis de redes Bayesianas para as variáveis A, B e C.....	47
Figura 3.6 - Distribuição das probabilidades da aptidão dos indivíduos.....	54
Figura 3.7 - Exemplo da aplicação do operador de crossover.....	56
Figura 3.8 - Exemplo de aplicação do crossover de dois pontos.....	57
Figura 3.9 - Exemplo de aplicação do Crossover Uniforme.	57
Figura 3.10 - Exemplo da aplicação do operador de mutação.....	58
Figura 5.1 Finalidade do acesso à Internet no Brasil (PNAD, 2008).....	72
Figura 5.2 Crescimento do número de usuários Internet e assinantes de banda larga no período de 1998 a 2009 - gráfico adaptado de (MEASURING, 2011).	72
Figura 5.3 Etapas do processo de mineração de dados (REZENDE, 2003).....	74
Figura 5.4 Fluxograma da metodologia.....	78
Figura 5.5 – <i>Testbed</i> criado para Rede em Estudo	79
Figura 5.6 – Fotos do pavilhão. No sentido horário: lado externo com janelas de vidro, sala de aula, corredor e lado externo com corredor ao longo.	80
Figura 5.7 - Fotos do prédio de Laboratórios: corredores do andar superior e inferior e sala destinada a laboratório de pesquisa.	81
Figura 5.8 Carrinho com o transmissor VoIP e com o Receptor de Potência.	82
Figura 5.9 Rede Interferente	83
Figura 5.10 <i>Layout</i> com a localização dos pontos medidos para o cenário 1 – pavilhão de salas de aula.....	83
Figura 5.11 <i>Layout</i> com a localização dos pontos medidos para o cenário 2 – prédio anexo de laboratórios.	84

Figura 5.12 Variação dos parâmetros de QoS com a distância para o prédio de salas de aula e para o prédio anexo de laboratórios sem interferência.	86
Figura 5.13 Variação dos parâmetros de QoS com a distância para o prédio de salas de aula e prédio anexo de laboratórios com interferência.	87
Figura 5.14 Resultados de redes Bayesianas sem (a) e com (b) interferência.....	89
Figura 5.15 Redes Bayesianas com inferência de pior nível de sinal com interferência.	91
Figura 5.16 Redes Bayesianas com inferência de pior nível de sinal sem interferência.	92
Figura 5.17 Redes Bayesianas com inferência de melhor <i>throughput</i> com interferência.	93
Figura 5.18 Redes Bayesianas com inferência de melhor <i>throughput</i> sem interferência.....	94
Figura 5.19 Redes Bayesianas com inferência de melhor nível de sinal com interferência.....	96
Figura 5.20 Redes Bayesianas com inferência de melhor nível de sinal sem interferência.	97
Figura 5.21 Redes Bayesianas com inferência de baixo <i>throughput</i> com interferência.....	98
Figura 5.22 Redes Bayesianas com inferência de baixo <i>throughput</i> sem interferência.	99
Figura 5.23 Exemplos de tabelas de probabilidade condicional para <i>throughput</i> e PMOS	100
Figura 5.24: Mapas de nível de sinal para campanha de medição pavilhão sem interferência e com interferência.	101
Figura 5.25: Mapas de <i>jitter</i> para campanha de medição pavilhão sem interferência e com interferência.	102
Figura 5.26: Mapas de <i>packet loss</i> para campanha de medição pavilhão sem e com interferência.	103
Figura 5.27: Mapas de PMOS para campanha de medição pavilhão sem e com interferência.	104
Figura 5.28 Rede Bayesiana Naive gerada para o cenário 1.	106

LISTA DE SIGLAS

ACO	Ant Colony Optimization.
AG	Algoritmos Genéticos.
ARC	Automatic Rate Control.
ARQ	Automatic Repeat Request.
BER	Bit Error Rate.
BPSK	Binary Phase Shift Keying.
BSS	Basic Service Set.
CA	Collision Avoidance.
CCA	Clear Channel Assessment.
CGI	Comitê Gestor da Internet.
CODEC	Codificador e Decodificador.
CRC	Cyclic Redundancy Check.
CSMA	Carrier Sense Multiple Access.
CSMA/CA	Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance.
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection.
CTS	Clear to Send.
DB	Decibel.
DBR	Reference Decibel.
DCF	Distributed Coordination Function.
DIFS	Distributed Inter Frame Space.
DNS	Domain Name System.
DSSS	Direct Sequence Spread Spectrum.
ESS	Extended Service Set.
FDM	Frequency Division Multiplexing.
FHSS	Frequency Hopping Spread Spectrum.
FTP	File Transfer Protocol.
HR/DSSS	High Rate Direct Sequence Spread Spectrum.
HTTP	Hypertext Transfer Protocol.
IA	Inteligência Artificial.
IC	Inteligência Computacional.
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers.
IR	Infravermelho.
ISM	Industrial, Scientific and Medical.
ITU-T	International of Telecommunications Union.
KDD	Knowledge Database Discovery.
LAN	Local Area Network.
LAPS	Laboratório de Processamento de Sinais.
LEA	Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado.
LLC	Logical Link Control.
LPRAD	Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho.
MAC	Medium Access Control.
MD	Mineração de Dados.
MIMO	Multiple-Input Multiple-Output.
MOS	Mean Opinion Score.

OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing.
OSI	Open Systems Interconnect.
PA	Ponto de Acesso.
PCF	Point Coordination Function.
PDA	Personal Digital Assistant.
PHY	Physical.
PMOS	Pseudo Mean Opinion Score.
PN	Pseudorandom Noise.
PSNR	Peak Signal Noise Ratio.
PSO	Particle Swarm Optimization.
QAM	Quadrature Amplitude Modulation.
QoE	Quality of Experience.
QoS	Quality of Service.
QR	Qualificador de Rede.
RB	Redes Bayesianas.
RF	Radiofrequência.
RNA	Rede Neural Artificial.
RSSI	Received Signal Strength Indicator.
RTS	Request to Send.
SD	Sistema de Distribuição.
SNR	Signal to Noise.
SSID	Service Set Identifier.
STA	Estação.
TCP	Transmission Control Protocol.
TCP/IP	Transmission Control Protocol/Internet Protocol.
TPC	Tabela de Probabilidade Condicional.
UDP	User Datagram Protocol.
VoIP	Voz sobre IP.
Wi-Fi	Wireless Fidelity.
WLAN	Wireless Local Area Network.

RESUMO

Apesar do aumento significativo do uso de redes locais sem fio (WLAN) nos últimos anos, aspectos de projeto e planejamento de capacidade da rede são ainda sistematicamente negligenciados durante a implementação da rede. Tipicamente um projeto de rede local sem fio é feito e instalado por profissionais de rede. Esses profissionais são extremamente experientes com redes cabeadas, mas são ainda geralmente pouco experientes com redes sem fio. Deste modo, as instalações de redes locais sem fio são desvantajosas pela falta de um modelo de avaliação de desempenho e para determinar a localização do ponto de acesso (PA), além disso, fatores importantes do ambiente não são considerados no projeto. Esses fatores se tornam mais importante quando muitos pontos de acesso (PAs) são instalados para cobrir um único edifício, algumas vezes sem planejamento de frequência. Falhas como essa podem causar interferência entre células geradas pelo mesmo PA. Por essa razão, a rede não obterá os padrões de qualidade de serviço (QoS) exigidos por cada serviço. O presente trabalho apresenta uma proposta para planejamento de redes sem fio levando em consideração a influência da interferência com o auxílio de inteligência computacional tais como a utilização de redes Bayesianas. Uma extensiva campanha de medição foi feita para avaliar o desempenho de dois pontos de acesso (PAs) sobre um cenário multiusuário, com e sem interferência. Os dados dessa campanha de medição foram usados como entrada das redes Bayesianas e confirmaram a influência da interferência nos parâmetros de QoS. Uma implementação de algoritmo genético foi utilizado permitindo uma abordagem híbrida para planejamento de redes sem fio. Como efeito de comparação para otimizar os parâmetros de QoS, de modo a encontrar a melhor distância do PA ao receptor garantindo as recomendações do *International Telecommunication Union* (ITU-T), a técnica de otimização por enxame de partículas foi aplicada.

Palavras-chave: *Redes sem fio; redes Bayesianas; algoritmo genético; enxame de partículas; Voz sobre IP; Qualidade de Serviço.*

ABSTRACT

In spite of the significant increase of the use of Wireless Local Area Network (WLAN) experienced in the last years, design aspects and capacity planning are still systematically neglected during the network implementation. Typically, a wireless local area network is designed and installed by networking professionals. These individuals are familiar with wired networks, but are often unfamiliar with wireless networks. Thus, wireless local area networks installations are prejudiced by the lack of an accurate performance evaluation model and to determine the location of the access point (AP), besides important factors of the environment are not considered in the project. These factors become more important when several APs are installed, sometimes without a frequency planning, to cover a unique building. Faults such as these can cause interference among cells generated by each PA. Therefore, the network will not obtain the QoS patterns required for each service. The present work provides a planning proposal to wireless networks regarding the influence of interference using computational intelligence just as Bayesian Networks. An extensive measurement campaign was done to evaluate the performance of two access points (PAs) under a multi user and interference scenarios. The data collected in the measurement campaign was used as input of the Bayesian networks and confirmed the influence of the interference in the QoS parameters. A genetic algorithm technique was used as a hybrid approach to wireless planning. Another technique, called particle swarm optimization (PSO) was used to compare the optimizations results from the QoS parameters to find the best distance from the AP to the receiver to guarantee the QoS ITU-T recommendations.

Keywords: Wireless Network; Bayesian Networks; Genetic Algorithm; Particle Swarm; Voice over IP; Quality of Service.

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 Motivação/objetivo

Redes locais sem fio, ou redes que usam o padrão do *The Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE) 802.11 ou ainda, *Wireless Fidelity* (Wi-Fi) vem se tornando populares no mundo das telecomunicações. Tal popularização vem crescendo à proporção do aumento das taxas de conexões. Em adição, o atual perfil do usuário também vem se modificando em direção a uma utilização que exige, cada vez mais, maior capacidade de transmissão (tipicamente, tráfego *triple play*). Como conseqüência, um esforço relevante vem sendo feito para garantir a confiabilidade de uma grande variedade de aplicações sobre diferentes infra-estruturas de redes sem fio.

Os dados pesquisados pela *Wi-fi Alliance* (Wi-Fi ALLIANCE, 2011), instituição criada para certificar produtos 802.11, e publicado na *PC MAGAZINE* (PC MAGAZINE, 2011), relata que em todos os dispositivos lançados, a característica comum é a capacidade de conexão via 802.11. Os consumidores demonstram a tendência em optar por Wi-Fi em todos os produtos de tecnologia. A pesquisa foi conduzida em conjunto com *Wakefield Research* (PC MAGAZINE, 2011). Os itens mais relevantes foram:

- 62% disseram que a sua próxima aquisição de aparelho celular será com Wi-Fi incluído.
- 65% procurarão Wi-Fi em cada produto tecnológico a ser comprado em 2011.
- 75% dos consumidores consideram comprar ao menos um produto habilitado com Wi-Fi em 2011.

O relatório também detalha o crescimento de Wi-Fi. Foram 761 milhões de produtos Wi-Fi em 2010, os eletrônicos e dispositivos móveis representam mais da metade do total. Os produtos certificados aumentaram 69% a mais em 2009.

No Brasil, uma pesquisa feita pelo Comitê Gestor da Internet Brasil (CGI.br) (CGI, 2011) sobre a proporção de empresas com rede cabeada(com fio) e sem fio em diversos segmentos

demonstra um considerável crescimento de redes sem fio em comparação com redes cabeadas ou com fio. A Figura 1.1 demonstra esse crescimento e a tendência de subida de redes sem fio. Esse percentual pesquisado é sobre o total de empresas que utilizam computador.

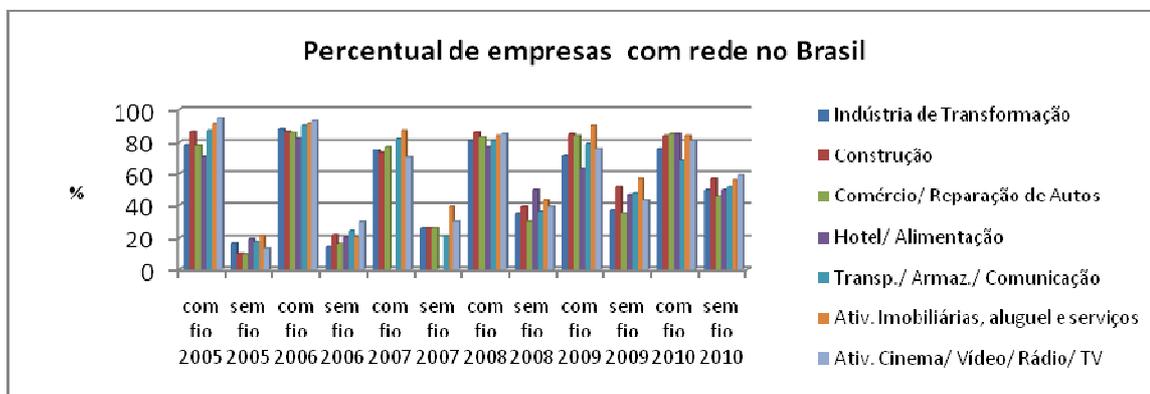


Figura 1.1 Percentual de empresas com rede no Brasil (CGI, 2011)

Na Figura 1.2 os dados da Figura 1.1 foram consolidados usando a média, ratificando o grande crescimento de redes sem fio e conforme linha de tendência pode ser estimado que o crescimento de redes sem fio as redes cabeadas em 2013.

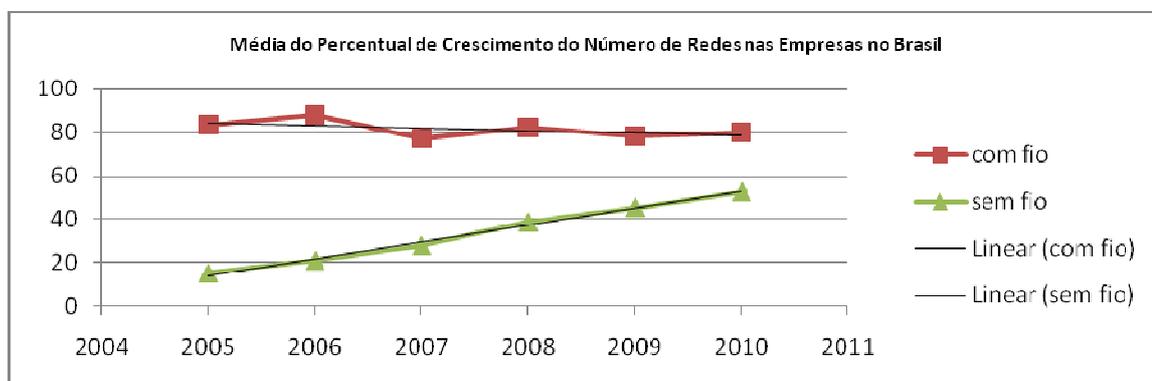


Figura 1.2 Média do percentual de crescimento do número de redes no Brasil.

Com o crescimento das redes sem fio, mesmo em pequenos cenários com somente alguns pontos de acesso a serem instalados ou para soluções que cobrem áreas extensas como *hot-spots* públicos, campi universitários e prédio de escritórios, estes passam a exigir métodos de planejamento, ou seja, tomar decisão sobre o posicionamento do ponto de acesso (PA), qual frequência deve ser sintonizada para evitar que as aplicações de usuários sofram degradação em função da escolha de alguns desses parâmetros (distância entre PAs versus frequência).

A degradação em aplicações de usuário podem ser medidas através das métricas de Qualidade de Serviço (QoS). Existem diversos parâmetros disponíveis para mensurar a qualidade de uma transmissão, seja ela de dados ou multimídia, entretanto alguns parâmetros podem gerar maior ou menor influência na comunicação e, portanto, é necessário definir quais métricas devem ser analisados para cada aplicação. Para isso, é importante apresentar o conceito de QoS e QoE (*Quality of Experience*).

Aspectos voltados à rede e aos sistemas são conhecidos como parâmetros de QoS caracterizando uma medida de desempenho no nível de pacotes, ou seja, é um conjunto de requisitos e mecanismos utilizados para implementar uma infra-estrutura de rede capaz de satisfazer os requisitos das aplicações, como por exemplo, oferecer o gerenciamento dos efeitos do congestionamento no tráfego de pacotes. Os parâmetros mais comuns relacionados à rede são: *delay* (atraso), *jitter* (variação do atraso), *packet loss* (perda de pacotes) e largura de banda (TR-126, 2006). Entretanto tais parâmetros não são suficientes para mensurar a experiência do usuário. Tal abordagem, que se refere à percepção do usuário, é conhecida como QoE.

Assim, como o modelo de QoS por si só não abrange todos os aspectos necessários para avaliar o serviço, é necessário utilizar modelos de QoE e QoS combinados em um modelo de camadas, no qual o domínio de parâmetros de QoE estão em um nível superior aos de QoS (Figura 1.3). Tal modelo pode ser definido em 3 (três) camadas (ZAPATER; BRESSAN, 2007):

Serviço: uma pseudo camada acima da camada de aplicação, a qual é exposta ao usuário e na qual os parâmetros de QoE são medidos. Um exemplo de medida é o MOS (*Mean Opinion Score*), que avalia o grau de percepção do usuário em relação a um serviço e sua degradação; o MOS que é uma métrica definida a partir de um conjunto de testes subjetivos, no qual vários ouvintes avaliaram a qualidade do áudio com base na clareza e cadência dos sons. A avaliação é feita conforme a Tabela 1.1.

Tabela 1.1 – Classificação do MOS (TR-126, 2006)

MOS	Qualidade do MOS	Grau de interferência
5	Excelente (<i>excellent</i>)	Imperceptível
4	Boa (<i>good</i>)	Perceptível mas não incômodo
3	Apropriado (<i>fair</i>)	Pouco incômodo
2	Pobre (<i>poor</i>)	Incômodo

1	Ruim (<i>bad</i>)	Muito incômodo
---	---------------------	----------------

- **Aplicação:** parâmetros relacionados a aplicações como as de vídeo (e.g. resolução, compressão, codecs, etc.).
- **Transporte:** parâmetros relacionados à camada de transporte (e.g. *jitter*, atraso, perda de pacotes, etc.).

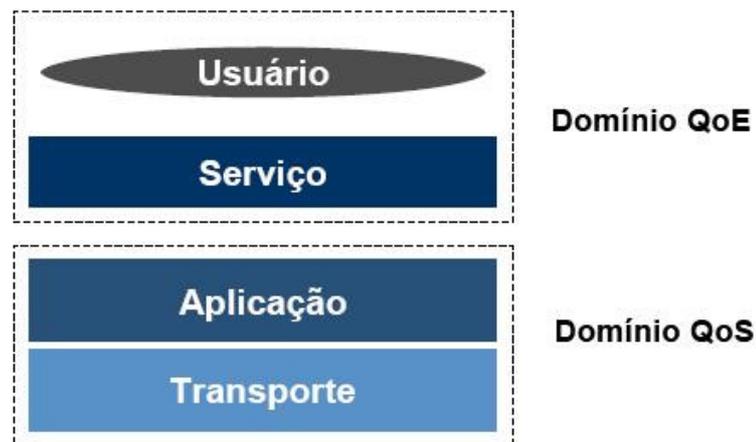


Figura 1.3 QoE e QoS (ZAPATER; BRESSAN, 2007)

Desta forma, destacam-se para o tráfego de dados parâmetros como taxa de perda de pacotes, atraso e *throughput*; uma vez que atrasos ou perda de pacotes muito grandes geram retransmissões desnecessárias que, por sua vez, podem acarretar congestionamentos na rede.

Para aplicações multimídia, como videoconferência e VoIP, consideradas aplicações sensíveis e de tempo real, parâmetros como *jitter* (variação estatística do atraso), atraso, MOS e perda devem ser analisados, pois podem comprometer a recepção da chamada VoIP.

Desta maneira, as métricas de QoS de uma conexão (fluxo ou sessão) incluem *throughput*, taxa de perda de pacotes, *jitter*, atraso e como métrica de QoE o MOS. As aplicações multimídia podem ainda ser classificadas em duas categorias: com garantia de QoS e de melhor esforço. A primeira categoria inclui voz (VoIP), vídeo/áudio *streaming*, telefonia com vídeo/áudio e conferência. Na segunda categoria estão as aplicações tais como: *web-browsing*, *e-mail* e protocolo de transferência de arquivo(FTP).

Dentre as aplicações multimídia citadas acima, a que tem mostrado crescimento é a Voz sobre IP (VoIP). Elas oferecem, principalmente, uma alternativa de baixo custo, ou mesmo gratuita, às ligações telefônicas tradicionais e o fato de redes locais sem fio não oferecerem em

seus protocolos de enlace garantia que essas aplicações terão os critérios de QoS atendidos, requer então que as redes locais sem fio sejam projetadas para atender rígidas especificações de QoS para transmissão de voz. Na recomendação G.114 do ITU-T define para serviços em tempo real, uma taxa tolerável de perda de pacotes entre 1% e 3% e o atraso permitido de 150ms ou não maior que 400 ms (ZHAI et al., 2006). Devido a essas especificações sensíveis, a aplicação VoIP foi escolhida para avaliar os testes de campo realizados neste trabalho.

Uma importante tarefa de um projetista de rede é construir uma infra-estrutura que ofereça cobertura suficiente para preencher os requerimentos referidos a demanda de capacidade. Devido ao pequeno número de frequências disponíveis, o problema da interferência co-canal tem um grande impacto no desempenho da rede e deveria por esta razão também ser considerada no planejamento de redes sem fio. O impacto da interferência em redes sem fio precisa ser levado em consideração para fins de projeto e não somente a correta escolha da frequência, pois há situações onde muitos pontos de acesso precisam coexistir e o número permitido de frequências pode já não atender ao requisito de não haver interferência.

Na Figura 1.4 são mostrados dados medidos da métrica de QoS perda de pacotes de uma ligação VoIP em uma WLAN com e sem interferência. Ressalta-se a degradação do parâmetro em função da interferência. Intuitivamente pode-se verificar que na faixa a partir de 11 metros a degradação é maior. Existem várias técnicas de inteligência computacional que podem ser utilizadas para avaliar a correlação e diagnóstico de problemas. Uma delas são as redes Bayesianas que é uma alternativa a ser aplicada para diagnóstico avaliando quantitativamente e qualitativamente o efeito de variáveis correlacionadas.

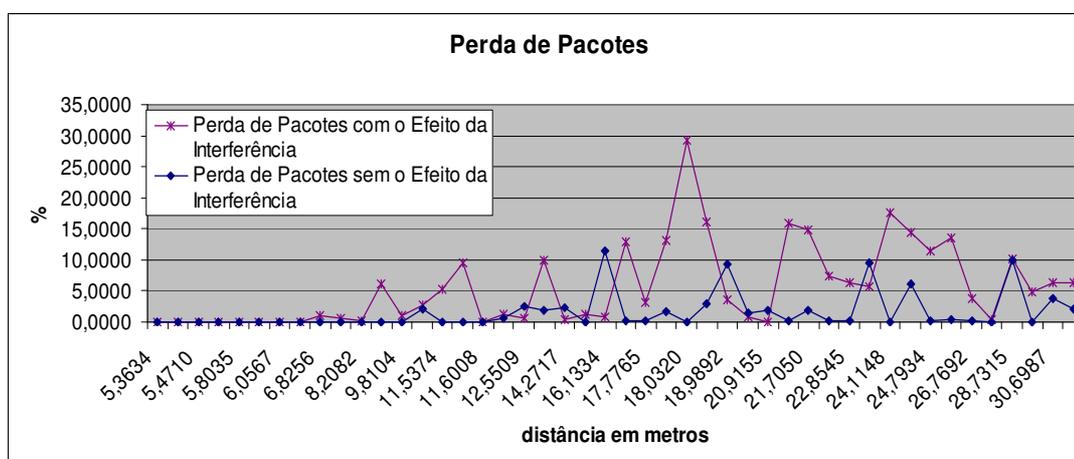


Figura 1.4 Medidas de perda de pacotes com a distância.

Quando uma informação da camada física ou de qualquer camada é usada para ajustar/avaliar os parâmetros de protocolos de camadas mais altas na rede esta abordagem é chamada de otimização *cross-layer* (GLISIC, 2006). Essa abordagem será melhor explicada no capítulo 5, onde a metodologia proposta será apresentada.

No entanto, frequentemente os trabalhos publicados abordam somente o método de prover cobertura por tentativa e erro. Entretanto, a experiência tem mostrado que esse método não é preciso e confiável especialmente para grandes edifícios. Conseqüentemente, pesquisas com métodos de otimização tem sido feitas para tentar encontrar a posição ótima de PAs de modo atender tanto parâmetros de qualidade de serviço quanto cobertura.

1.2 Hipótese

Neste trabalho serão investigadas as seguintes hipóteses:

- a) Para tentar resolver e quantificar o efeito da interferência em redes sem fio a verificação através de redes Bayesianas é abordada e validada como uma suposta alternativa eficiente.
- b) O uso das redes Bayesianas supostamente seria uma alternativa para correlacionar parâmetros de QoS com parâmetros de camada física, a citar distância e nível de sinal.
- c) Verificar através de técnica de medição se as folhas de dados ou *datasheets* dos equipamentos sem fio estão coerentes quando relatam que a uma distância de 100 m ainda é possível associar-se ao PA, ou seja, o nível de sinal ainda seria suficiente.
- d) Verificar a possibilidade de aplicação e comparação de resultados de técnicas de otimização com a utilização de algoritmo genético e a técnica de enxame de partículas para determinar uma posição ótima ao PA, levando em consideração uma abordagem *cross-layer*.

1.3 Objetivo central

Esta proposta de tese tem como objetivo propor o desenvolvimento de uma estratégia de planejamento e otimização para redes locais sem fio considerando os efeitos da interferência que podem degradar os parâmetros de QoS das aplicações dos usuários.

Os objetivos específicos são explorar os métodos de aferição apresentando os resultados de campanhas de medição, exploração das redes Bayesianas para diagnóstico de problemas como no efeito da interferência nestas redes e a exploração de técnicas de otimização baseada em

metaheurística para comparação com otimização pelo uso de enxame de partículas. Desenvolvendo desta maneira, estratégias de planejamento com a aplicação de inteligência computacional e técnicas de otimização.

1.4 Organização do Trabalho.

Na seção anterior foi discutida a motivação e o objetivo desta proposta que trata-se de diagnóstico para apoiar a decisão ou apoiar a otimização.

O restante do trabalho está organizado da seguinte maneira:

- No segundo capítulo é feita uma revisão bibliográfica de redes sem fio descrevendo a arquitetura do padrão 802.11, bem como características de enlaces e redes sem fio. Uma descrição da taxa adaptativa do padrão 802.11 é feita de modo a subsidiar o entendimento do comportamento do chaveamento das modulações utilizadas no padrão e sua relação com distância e a relação sinal ruído (*Signal Noise Ratio-SNR*). Como o padrão 802.11 é composto de uma camada de enlace e da camada física, uma breve descrição também é feita. Finalmente alguns detalhes dos padrões mais populares, a citar, IEEE 802.11a, IEEE 802.11b e IEEE 802.11g são abordados para concluir o capítulo.
- No terceiro capítulo são descritas as técnicas de inteligência computacional (IC) para apoiar a abordagem proposta nos aspectos de suporte a decisão e otimização. Desta maneira são abordadas as redes Bayesianas, algoritmos genéticos e enxame de partículas com seus conceitos e representações.
- O quarto capítulo é destinado aos trabalhos e estudos relacionados ao trabalho proposto, que sintetizam parte do atual “estado-da-arte” da área envolvida nesta tese.
- No quinto capítulo descreve a metodologia proposta neste trabalho. São apresentados também, os detalhes do experimento e alguns estudos de caso da abordagem híbrida proposta.
- Por fim, no capítulo seis constam as conclusões deste trabalho, enfocando nas contribuições da tese, assim como as dificuldades encontradas ao longo do desenvolvimento da pesquisa e futuros trabalhos como desdobramento da pesquisa atual.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: REDES LOCAIS SEM FIO

2.1 Considerações Iniciais

Desde o surgimento do projeto Ethernet no início dos anos 70, que as redes locais disponíveis tanto para o uso privado como público, são cada vez mais imprescindíveis no dia a dia das empresas e das pessoas. A tecnologia Wireless Local Area Networking (WLAN) ou redes locais sem fio tem uma grande penetração no mercado de telecomunicações, sendo usada como o último salto da Internet ou da rede de telefonia cabeada, trabalhando em conjunto com redes cabeadas, fornecendo mobilidade e cobertura. Os Hot Spots, locais públicos onde usuários podem encontrar acesso sem fio 802.11, estão cada vez mais frequentes e todos os dispositivos portáteis como PDA's, notebooks estão sendo equipados com cartão de interface de rede e adaptadores. Esse sucesso se deve principalmente a simplicidade da solução, seu custo efetivo e a demanda crescente de conectividade em qualquer lugar, em qualquer hora.

Wi-fi é o termo usado para designar WLAN, o qual fornece um mecanismo para conectar usuários sem fio a um backbone em alta velocidade. O padrão mais conhecido de WLAN é o IEEE 802.11, o qual tem muitos padrões suplementares.

O primeiro padrão IEEE foi publicado em 1997 com o protocolo de acesso múltiplo (MAC), chamado acesso múltiplo por detecção de portadora/prevenção de colisão (CSMA/CA) e três diferentes mecanismos de implementação da camada física: *direct sequence spread spectrum* (DSSS), *frequency hopping spread spectrum* (FHSS), e infravermelho (IR). Na seção 2.5 estas implementações serão descritas.

Entre os principais padrões 802.11 pode-se mencionar: 802.11a, 802.11b e 802.11g. A tabela 2.1 apresenta um resumo das principais características desses padrões que serão descritos nas seções 2.6, 2.7 e 2.8.

Padrão	Faixa de frequência	Taxa de Dados
--------	---------------------	---------------

802.11b	2,4 – 2,485 GHz	até 11Mbps
802.11a	5,1 – 5,8 GHz	até 54 Mbps
802.11g	2,4 – 2,485 GHz	até 54 Mbps

Tabela 2.1 Resumo dos padrões IEEE 802.11

Esses padrões possuem como características comuns o mesmo protocolo de acesso ao meio que está descrito na seção 2.5. Todos usam a mesma estrutura de quadro na camada de enlace. Todos têm capacidade de reduzir sua taxa de transmissão para alcançar distâncias maiores como está descrito na seção 2.4. E todos permitem o modo infraestrutura e modo *ad hoc* que está descrito na seção 2.2. As principais diferenças estão na camada física que estão descritos na seção 2.5. Resumindo, o IEEE 802.11b usa o mecanismo *High Rate DSSS (HR/DSSS)*, o IEEE 802.11a e o IEEE 802.11g usam o mecanismo *orthogonal frequency division multiplexing (OFDM)*.

2.2 A arquitetura 802.11

Uma WLAN é basicamente constituída de um ou mais pontos de acesso sem fio (PAs) conectado a rede cabeada o qual disponibiliza conectividade sem fio à área coberta.

Na norma proposta pelo IEEE (IEEE, 2007) para redes locais de acesso à rádio estão previstos dois modos distintos de implementação da rede:

- O modo *ad-hoc*;
- O modo infra-estruturado, também chamado de cliente/servidor.

Nas redes em modo *ad-hoc*, como é visível na Figura 2.1, não existe nenhuma estrutura cabeada que lhes sirva de suporte. Cada hospedeiro sem fio, tipicamente um computador comunica diretamente com todos os hospedeiros, não existindo assim qualquer ponto fixo que controle o acesso. Na ausência de uma infra-estrutura, os próprios hospedeiros devem prover serviços como roteamento, atribuição de endereço e tradução de endereços semelhante ao DNS (*Domain Name System*) (KUROSE; ROSS, 2006). Essas redes estão despertando um interesse grande devido à contínua proliferação de equipamentos portáteis que podem se comunicar.



Figura 2.1 Rede *Ad-hoc* (KUROSE; ROSS, 2006)

O modo infra-estruturado, ou cliente/servidor é baseado numa arquitetura celular, onde cada célula, chamada conjunto básico de serviço (*basic service set - BSS*) é controlada por um PA. Apesar de poder existir uma só célula, com um único PA, na maior parte dos casos, uma rede deste tipo é constituída por várias células, onde os PAs são interligados através de um Sistema de Distribuição (SD) cabeado, que usualmente é uma rede local. O conjunto dos elementos que constituem a rede 802.11, com todas as suas células, PAs e SD é vista pelas camadas superiores do modelo OSI (*Open Systems Interconnect*) como uma única rede 802, sendo chamada na norma como *Extended Service Set (ESS)*. Os *Hot Spots*, por exemplo, normalmente disponibilizam o acesso à Internet usando o modo infra-estruturado.

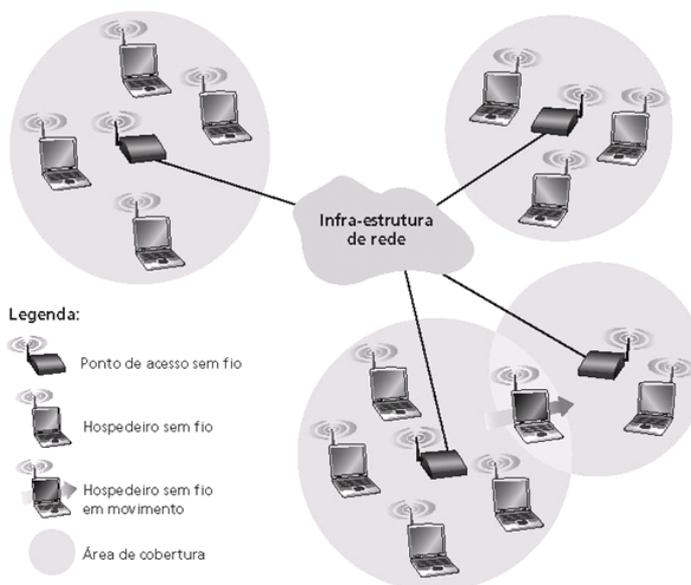


Figura 2.2 Rede infra-estruturada (KUROSE; ROSS, 2006)

Nas redes 802.11, cada estação sem fio precisa se associar com um PA antes de poder enviar ou receber quadros 802.11 contendo dados de camada de rede.

Ao PA precisa ser configurado um identificador de conjunto de serviços (SSID) composto de uma ou duas palavras. Um número de canal também precisa ser selecionado durante a configuração. Esse número de canal, por exemplo, na faixa de 2,4 GHz a 2,485 GHz define 11 canais que se sobrepõem parcialmente. Esta justaposição será descrita com maiores detalhes na seção 2.5.

O padrão 802.11 requer que um PA envie periodicamente quadros de sinalização, cada qual incluindo o SSID e o endereço MAC do PA. A estação sem fio faz uma busca nos 11 canais em busca de quadros de sinalização para encontrar os PAs disponíveis, permitindo ao usuário selecionar um entre os disponíveis.

O padrão 802.11 não especifica um algoritmo para selecionar qual PA se associar; esse algoritmo é de responsabilidade dos projetistas do firmware e do software 802.11 em seu hospedeiro sem fio. Em geral, o hospedeiro sem fio escolhe o PA cujo quadro de sinalização é recebido com o nível de sinal mais forte. O processo de varrer canais e ouvir quadros de sinalização é conhecido como varredura passiva. Um hospedeiro sem fio pode também realizar varredura ativa, transmitindo um quadro de investigação que será recebido por todos os PAs dentro da área de cobertura. Os PAs respondem ao quadro de requisição de investigação com um quadro resposta de investigação. O hospedeiro sem fio pode, então, escolher o PA com o qual se associar dentre os PAs de resposta.

Após selecionar o PA, o hospedeiro sem fio envia um quadro de solicitação de associação ao PA, e este responde com um quadro de resposta de associação.

Em relação à segurança, para criar uma associação com um determinado PA, a estação sem fio possivelmente terá de se autenticar perante o PA. O padrão 802.11 dispõe de várias alternativas para autenticação e acesso: permissão de acesso via endereço MAC e nomes de usuários e senhas. Em ambos os casos, o PA comunica-se com um servidor de autenticação.

2.3 Características de enlaces e redes sem fio

Essencialmente, as WLANs fornecem comunicações de dados sobre enlaces de rádio que estão sujeitos aos problemas de propagação das ondas de radiofrequência e interferência que todo sistema de rádio-comunicação sofre.

As atenuações no nível de sinal podem ocorrer tanto em função da distância entre emissor e receptor, quanto ao atravessar algum tipo de obstáculo como paredes.

Várias fontes de rádio transmitindo na mesma banda de frequência sofrerão interferência uma das outras. Telefones sem fio de 2,4 GHz e LANs sem fio 802.11b e 802.11g transmitem na mesma banda de frequência. Além da interferência de fontes transmissoras, o ruído eletromagnético presente no ambiente (ex. um motor ou forno de microondas) pode resultar em interferência.

O multipercurso é outro problema que ocorre quando a onda eletromagnética é refletida em objetos e no solo e tomam caminhos diferentes entre um emissor e um receptor. Isso resulta no embaralhamento do sinal recebido no destinatário.

Em consequência das atenuações, interferência e multipercurso, enlaces de rádio estão sujeitos a altos erros, pois são afetados pelas características de propagação, dos equipamentos próximos e ainda tem que dividir largura de banda entre todos os usuários do canal de rádio-frequência (RF).

Em contraste, a rede cabeada (ótica ou de cobre) apresenta baixos níveis de erro de bits normalmente da ordem de 1×10^{-9} , são fisicamente seguras, independentes das influências do ambiente ou de interferência mútua e provêm largura de banda extremamente alta (ALEXANDER, 2007).

Ainda sobre as falhas que podem ocorrer em um canal sem fio o hospedeiro, que recebe o sinal sem fio transmitido pelo remetente, recebe um sinal degradado devido aos efeitos anteriormente descritos como distância, propagação multipercurso e ruído do ambiente.

A relação sinal-ruído (SNR) é uma medida relativa da potência do sinal recebido e o ruído. O SNR é medido em decibéis (dB) e é vinte vezes a razão do logaritmo de base 10 da amplitude do sinal recebido à amplitude do ruído. É uma medida que quanto maior melhor para extração do sinal original.

A Figura 2.3 mostra a taxa de erro de bits (BER) versus o SNR para 3 técnicas de modulação diferentes para codificar informações para a transmissão em um canal sem fio idealizado. A Figura ilustra características importantes na compreensão dos protocolos de comunicação sem fio pelas camadas superiores:

Para uma determinada modulação quanto mais alta for a SNR, mais baixa será a BER. De outra forma, um remetente pode sempre aumentar o SNR aumentando sua potência de transmissão. A desvantagem é que mais energia deve ser gasta pelo remetente e é maior a probabilidade de interferir nas transmissões de outro remetente.

Para um determinado SNR, uma técnica de modulação com uma alta taxa de transmissão de bit terá uma BER maior. Na Figura 2.3 para um SNR de 10 dB, a modulação BPSK possui BER menor que 10^{-7} , enquanto a modulação QAM16 a BER é de 10^{-1} . Para um SNR de 20 dB, a modulação QAM16 tem BER de 10^{-7} e a modulação QAM256 teria um BER de aproximadamente 10^{-1} . Essas considerações são a origem da característica de seleção dinâmica da técnica de modulação da camada física para adaptar a técnica de modulação às condições do canal. O SNR (portanto a BER) pode alterar como resultado da mobilidade ou em razões das mudanças no ambiente. Isso permite, a seleção de uma técnica de modulação que oferece a mais alta taxa de transmissão possível sujeita a uma limitação na BER, para determinadas características do canal.

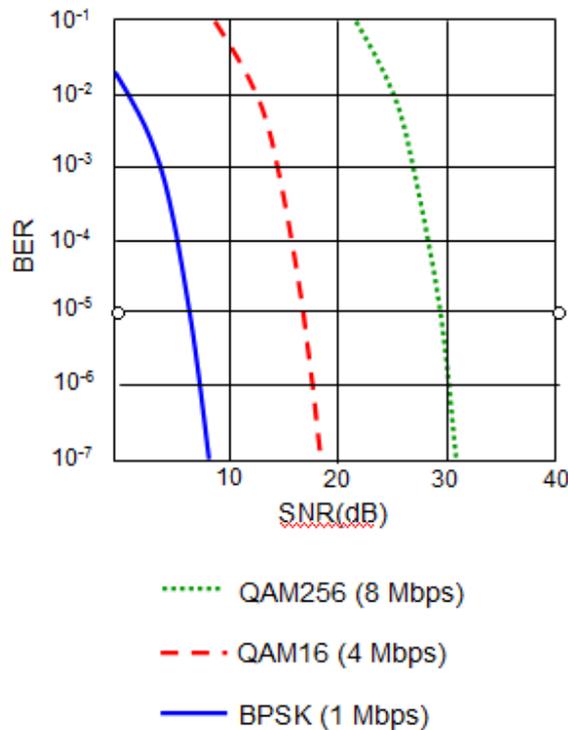


Figura 2.3 Taxa de erro de bits, taxa de transmissão e SNR

Taxas de erros de bits mais altas e que variam ao longo do tempo não são as únicas diferenças entre rede cabeada e sem fio. Nos enlaces cabeados há a utilização de broadcast onde todos os nós recebem a transmissão de todos os outros nós. Nos enlaces sem fio há a presença do terminal oculto, que ocorre sempre que uma estação A esteja transmitindo para a estação B e uma estação C esteja transmitindo para a estação B também. As transmissões de A e C interferem em B, pois A e C não escutam as transmissões de um e de outro devido a alguma obstrução física presente no ambiente. O problema do terminal oculto está mostrado na Figura 2.4a. Outro problema de colisão ocorre quando a estação A e a estação C estão muito distantes uma da outra, não detectando o sinal uma da outra, pois este já desvaneceu com a distância. A Figura 2.4b ilustra o desvanecimento e a interferência causada na estação B que ainda recebe o sinal com nível aceitável de ambas as estações. O problema do terminal oculto e do desvanecimento, tornam o protocolo de acesso múltiplo em uma rede sem fio mais complexo do que em uma rede cabeada como será descrito na seção 2.5.

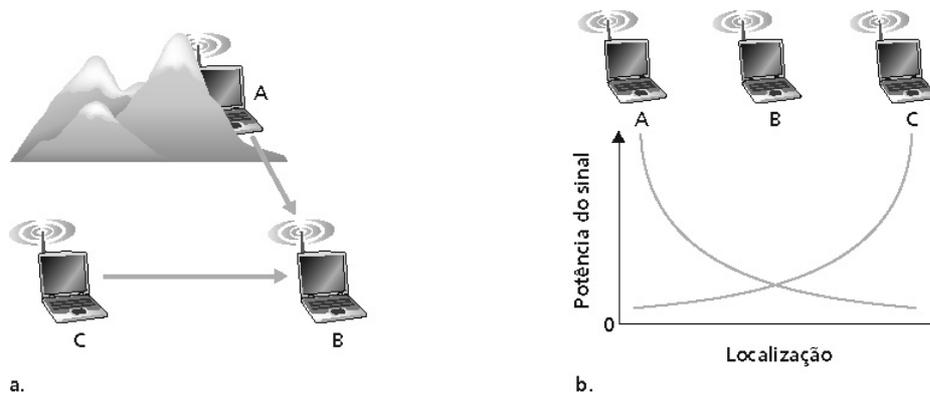


Figura 2.4 Problema do terminal oculto (a) e do desvanecimento (b)

2.4 Taxa adaptativa do padrão 802.11

A adaptação da taxa é uma peculiaridade interessante da camada física PHY.

A camada física PHY, sob o controle da camada de enlace MAC, seleciona a melhor taxa de dados para a transmissão sob o meio de propagação predominante e sob condições de interferência.

Para facilitar a taxa de adaptação existem muitas taxas definidas para a camada física PHY dos padrões 802.11g ou 802.11a: especificamente 1, 2, 5.5, 6, 9, 11, 12, 18, 24, 36, 48 e 54 Mbps. Por esta razão a camada física provê um método dinâmico e automático de ajuste da taxa PHY para atender as condições do canal.

A adaptação da taxa é basicamente um intercâmbio entre *throughput* em um nível mais baixo e taxa de erros de quadro.

Uma alta taxa PHY tais como 54 Mbps pode transferir dados mais do que duas vezes mais rápido do que uma taxa mais baixa de 24 Mbps, mas também requer uma alta taxa de relação sinal-ruído SNR para manter a mesma taxa de erro de quadros. Quando a relação SNR cai devido ao aumento do nível de interferência, as transmissões em 54 Mbps experimentam níveis maiores de erros de quadro, os quais requerem mais retransmissões - por esta razão, tornando a taxa de transferência de dados menos efetiva. Em algum ponto, é mais eficiente usar uma taxa mais baixa que é menos suscetível a erros de quadro naquela mesma relação SNR; a taxa de bits reduzida é compensada pela taxa de retransmissão mais baixa, porque os erros de quadro decrementam. A camada física PHY consequentemente ajusta sua taxa de bits para manter alta eficiência.

O algoritmo específico usado para determinar o comportamento da taxa adaptativa de um dispositivo WLAN não é padronizado, e é usualmente específico de cada fabricante e proprietário. Em geral, o processo de adaptação da taxa foca em dois parâmetros: nível de sinal dos pacotes recebidos e na taxa de erros percebida no destino. A taxa de bits percebida no destino é deduzida através da procura por pacotes de reconhecimentos (ACKs) perdidos em resposta aos quadros de dados transmitidos, isso porque o 802.11 não fornece uma indicação explícita da taxa de erros de quadro entre dispositivos.

Um nível de sinal mais baixo, particularmente relacionado com uma alta taxa de erros de quadro no destino indica a necessidade de trocar a taxa da camada física PHY para manter uma eficiente transferência de dados.

Finalmente, a taxa adaptativa do padrão 802.11 também é chamada de controle automático da taxa de transmissão (*Automatic Rate Control* ou ARC), sendo o mecanismo responsável por escolher a modulação adequada às condições do canal com o objetivo de explorar o compromisso entre a taxa de erros e a capacidade de transmissão, tem como princípio de atuação do mecanismo que quanto pior a situação do canal, mais robusta deve ser a modulação utilizada (menor a taxa de transmissão); quanto melhor o canal, menos robusta pode ser a modulação utilizada (maior a taxa de transmissão).

2.5 O protocolo MAC 802.11 e camada PHY

WLAN possui uma camada de controle de acesso ao meio (MAC) e uma camada física (PHY). A camada MAC é responsável por coordenar o esquema de múltiplo acesso para permitir mais do que um usuário por vez e a camada física é responsável por transmitir e receber pacotes por interface aérea. Na Figura 2.5 mostra um esquema das camadas que o padrão IEEE 802.11 implementa.

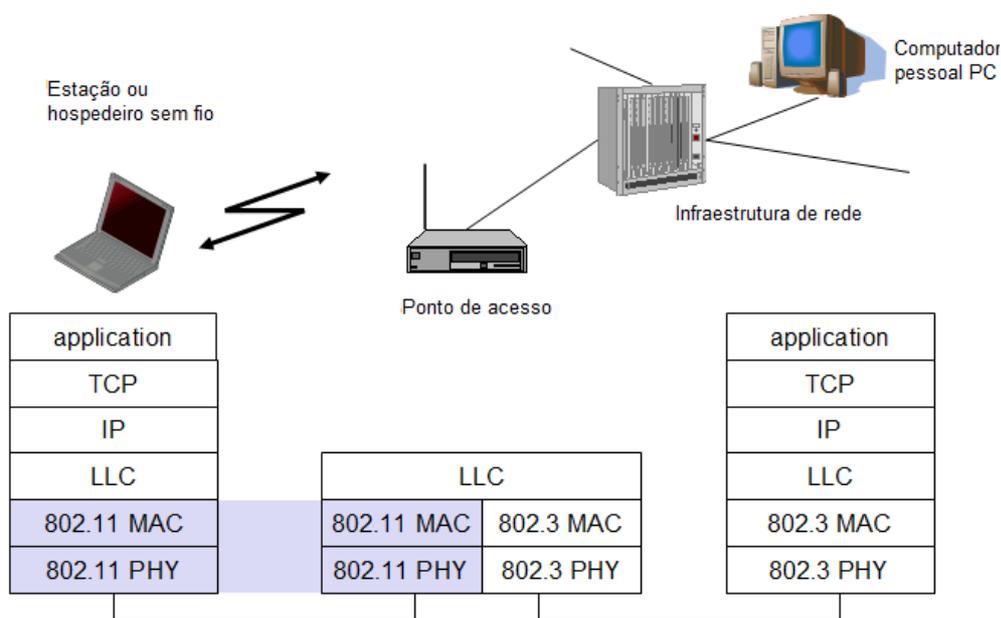


Figura 2.5 Camadas do padrão IEEE 802.11 (SCHILLER, 2003)

A tecnologia IEEE 802.11 é a norma original e a base de outros protocolos na faixa de frequência dos 2,4GHz. Além do nível físico, esta norma define também as especificações da camada MAC. A camada MAC é comum às normas que o IEEE desenvolveu para as redes locais sem fio, seja na banda dos 2,4GHz, seja na banda dos 5GHz.

A camada PHY em qualquer tecnologia de transmissão por rádio define qual a modulação e quais as características do sinal para a transmissão dos dados. O mesmo se verifica neste caso, destinando-se a controlar a transmissão dos dados para os hospedeiros, podendo usar DSSS, FHSS, OFDM ou infravermelho. Na Figura 2.6 ilustra a pilha de protocolos 802.11.

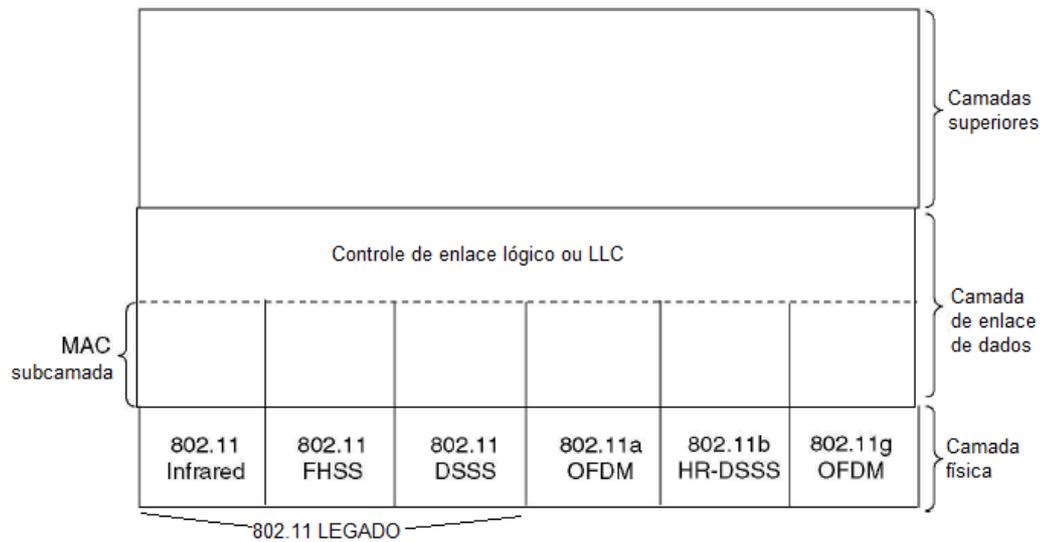


Figura 2.6 Pilha de Protocolos 802.11(SCHILLER, 2003)

2.5.1.1 *Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS)*

DSSS é um método de espalhamento espectral, usado para transmissão de um sinal por uma largura de banda muito superior à do próprio sinal. Este espalhamento leva a seguinte situação: com a divisão da energia do sinal por uma banda maior, a amplitude desse sinal é significativamente mais baixa, chegando aos valores do nível de ruído, como se pretende ilustrar na Figura 2.7. O fato de o sinal ser espalhado após a portadora de RF ter sido modulada (contudo a potência total do sinal é mantida inalterável), permite que um receptor em monitoração permanente do canal possa detectar mudanças no mesmo que assumem um padrão conhecido (dependente da modulação) e reconhecer o sinal a ser interpretado. O método de o canal conter o sinal espalhado, para posterior análise de correlação no receptor com o tipo de sinal que se espera receber, permitem uma elevada defesa contra ruído o qual tem caráter de banda estreita. Esse ruído, perturbador para uma determinada faixa dentro do canal de transmissão, ao sofrer o processo de demodulação, no receptor é espalhado por toda a banda, ao passo que o sinal pretendido sai destacado, com a sua largura de banda e amplitudes originais. O receptor efetua a operação inversa do espalhamento sobre o sinal de RF que chega para recuperar os dados, conforme está mostrado na Figura 2.7.

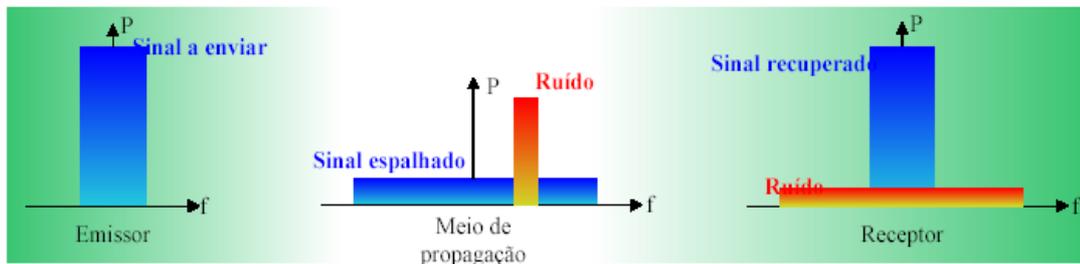


Figura 2.7 Representação do processo de espalhamento com existência de ruído.

Este processo recorre a uma transformação matemática do sinal de banda estreita, aplicando a cada bit do sinal a transmitir um código binário composto por 11 chips. Apesar de um chip continuar a ser um número binário, tal como um bit, é assim referenciado para distinção de valores binários que representam dados a transportar, dos que servem como codificação num processo de espalhamento. Estas cadeias de 11 chips (para o caso das redes locais sem fio) são chamadas de códigos PN (*Pseudorandom Noise*) e apresenta uma velocidade de chip muito superior à velocidade binária. Cada bit que é transmitido é modulado por uma seqüência de 11 chips. O sinal de alta frequência resultante é enviado então na portadora de RF.

Independentemente do valor da velocidade ser igual a 1 Mbps ou 2 Mbps, a norma IEEE 802.11 especifica canais com a largura de 5MHz. No total, existem 11 canais dentro da banda *Industrial Scientific and Medical* (ISM) que são de fato usados.

A separação entre frequências centrais de cada canal é de 25MHz nos sistemas DSSS, portanto, como se demonstra pela Figura 2.8, a banda dos 2,4GHz pode acomodar até 3 células sem sobreposição, ou seja sem existência de interferência. Deve-se isto a que o clock de chip é de 11MHz, provocando o espalhamento da energia do centro do canal em múltiplos de 11MHz. A maior parte da energia está concentrada em 22MHz. O primeiro lóbulo é filtrado 30 dBr (nível em referência à frequência central) e os restantes a 50 dBr para evitar interferência de canais adjacentes. Com 22MHz de espaçamento entre frequências centrais implica que entre cada canal deve existir cinco canais de separação, implicando que no máximo e sem qualquer filtragem adicional podem ter-se três canais não sobrepostos.

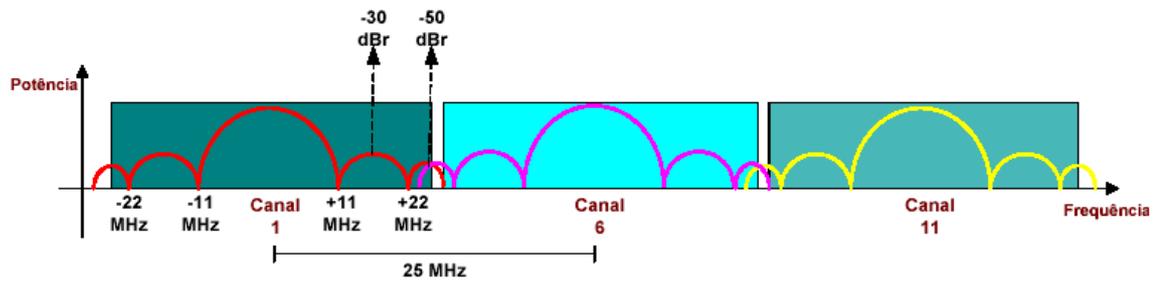
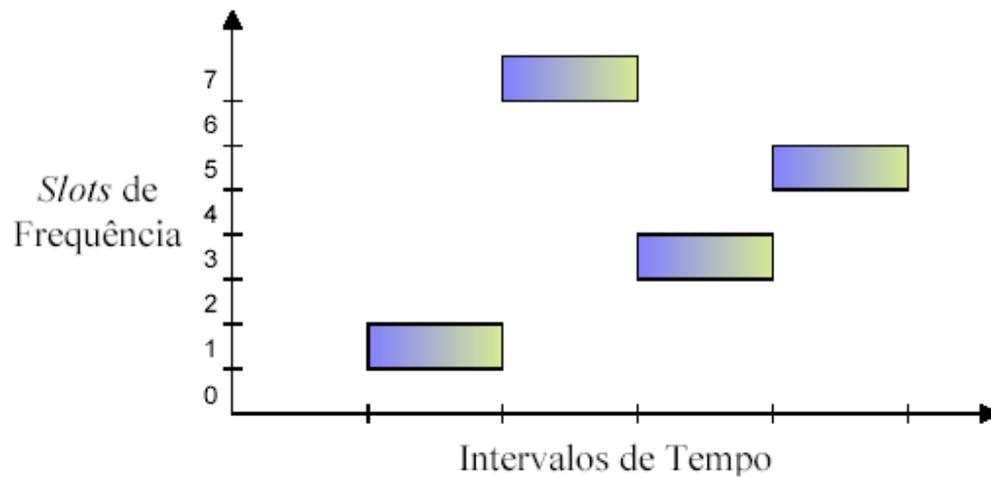


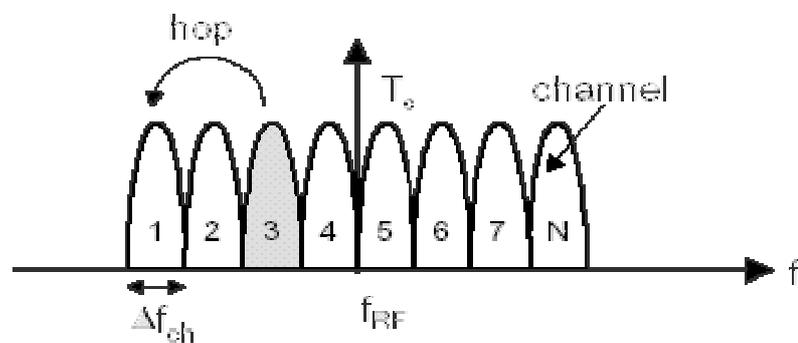
Figura 2.8 Três canais na banda 2,4GHz.

2.5.1.2 Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS)

Genericamente, FHSS é a transição muito rápida entre canais dentro do espectro de operação, cujo padrão de transição ou de “salto” é predeterminado e é do conhecimento do emissor e do receptor. Cada um dos canais é usado durante um período de tempo (*slot* de frequência), comutando em seguida para outro canal e assim sucessivamente durante toda a transmissão, como na Figura 2.9 (a) e (b).



(a)



(b)

Figura 2.9 Representação de FHSS

Tipicamente são definidas seqüências de salto diferentes por cada elemento da rede, de modo que o problema da interferência não prejudique as conexões. Pode existir sobreposição de *slots* de frequência (mesmo canal no mesmo tempo) de dois equipamentos distintos. No entanto, desde que exista uma seqüência padrão de salto diferente para ambos, a informação do canal interferido pode ser perdida, mas não passa de um efeito que pode ser visto como um fenômeno de ruído transitório.

Do ponto de vista da velocidade útil da transferência dos dados não deixa, no entanto de ser um fator a evitar. Para isso existem seqüências cujos padrões de salto evitam a sobreposição de *slots* de frequência entre si. Ao conjunto destas seqüências dá-se o nome de seqüências ortogonais. A Figura 2.10 ilustra um exemplo com duas seqüências diferentes. Por este motivo a seqüência de saltos é normalizada e a identificação dessa seqüência faz parte do quadro de *beacon*, que informa a cada hospedeiro qual é o padrão em uso e em que ponto está atualmente de modo a poder sincronizar-se. São 78 padrões de saltos organizados em 3 conjuntos de 26 padrões cada espaçados por canais de 1MHz, desde o canal 2 (2,402GHz) ao canal 79 (2,479GHz) não sobrepostos.

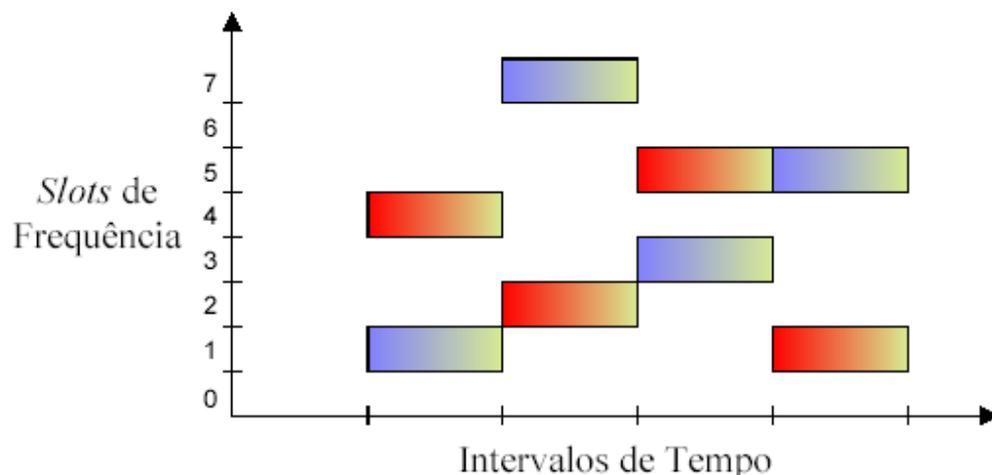


Figura 2.10 Representação de FHSS para mais que uma seqüência.

2.5.1.3 Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM)

Em termos conceituais, o princípio que rege a teoria do FDM (*Frequency Division Multiplexing*), base para a evolução OFDM, baseia-se na colocação de portadoras moduladas o mais próximo possível uma das outras antes que exista interferência entre si. Idealmente essas portadoras, ou sub-portadoras, poderiam ficar contíguas maximizando-se a capacidade do espectro disponível. Na prática existem bandas de guarda entre as sub-portadoras de modo a poder efetuar-se a filtragem que elimine (ou atenua) a interferência das sub-portadoras adjacentes.

O OFDM é uma técnica que permite a sobreposição da banda das portadoras sem que exista a interferência. A alta velocidade resultante de uma transmissão em OFDM resulta do envio do conjunto das várias sub-portadoras de baixa velocidade. Cada uma das sub-portadoras é uma senóide cuja frequência é múltipla de uma frequência de referência. Essas portadoras são consideradas ortogonais entre si, ou seja, o seu produto interno é zero. Portanto, ao se efetuar a multiplicação de dois sinais e o resultado for integrado em um intervalo e o resultado da integração for zero, então esses sinais são ortogonais nesse intervalo. Este fenômeno fará coincidir os nulos de uma sub-portadora com as frequências centrais das sub-portadoras adjacentes.

A técnica OFDM tem muitas vantagens. Como por exemplo, quando um sinal de RF é transmitido ele pode ser refletido pelos objetos do ambiente, gerando múltiplos sinais para o receptor em quadros variantes no tempo e comprimento de sinal. Isso é conhecido como desvanecimento multipercurso já descrito anteriormente neste capítulo. Devido ao fato do OFDM ser um sistema multiportadora, ele foi construído com diversidade em frequência (pelo uso de múltiplas frequências em paralelo), o qual provê grande imunidade ao ambiente multipercurso.

Qualquer que seja o tipo de acesso usado na camada PHY, cada um tem um tipo único de cabeçalho (*header*) que sincroniza o receptor e determina a modulação do sinal e a dimensão do pacote de dados. Os cabeçalhos da camada PHY são sempre transmitidos a 1 Mbps, existindo campos pré-definidos para aumento da velocidade no caso para 2 Mbps.(LOPES, 2004)

2.5.2 Camada de Acesso ao Meio (MAC)

A camada MAC de IEEE 802.11 define dois métodos de acesso: *Distributed Coordination Function* (DCF) e *Point Coordination Function* (PCF). Sendo DCF amplamente mais difundido do que PCF.

O método de acesso PCF implica a existência de pontos de acesso para exercerem a função de coordenadores. Os hospedeiros associados a um PA que contenha a função coordenadora, apenas podem transmitir quando recebem a informação de permissão por parte desse PA. O esquema de acesso sem contenção não é permanente, existindo períodos em que são seguidas as regras DCF. Em síntese, um hospedeiro ao associar-se ao PA informa ao mesmo de que pretende usufruir acesso livre de contenção. Este, quando entra na fase livre de contenção, procura em uma lista contendo os hospedeiros que irão ser alertados de que devem transmitir segundo os privilégios da não existência de período de contenção.

O DCF consiste na implementação de um mecanismo de acesso em uso na indústria, o mecanismo *Carrier Sense Multiple Access* (CSMA). A aplicação mais popular de CSMA são as redes *Ethernet*. Mais especificamente, as redes *Ethernet* implementam CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Detection*), enquanto as redes IEEE 802.11, em função das limitações descritas a seguir, implementam CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access/Collision Avoidance*).

O protocolo CSMA funciona da seguinte maneira: a estação “ouve” (o protocolo usa o algoritmo CCA (*Clear Channel Assessment*) para determinar se o canal está livre, efetuando a medição da energia RF na antena e determinando o nível do sinal recebido – RSSI (*Received Signal Strength Indicator*). Se esse nível estiver acima de um determinado limite (*threshold*) e se esse sinal é proveniente de uma portadora IEEE 802.11, é necessário seguir um conjunto de regras para se efetuar a transmissão no meio de comunicação antes de iniciar a transmissão; se o meio está livre, a estação transmite; senão, a estação espera até que o meio de transmissão esteja livre (LOPES, 2004). Esse modelo de protocolo é eficiente quando o meio de transmissão não está sobrecarregado, mas, mesmo se o meio de comunicação estiver subutilizado, ainda existe a possibilidade de que duas ou mais transmissões ocorram ao mesmo tempo.

Se duas estações perceberem o meio ocioso ao mesmo tempo, existe a possibilidade de ambas as estações transmitirem ao mesmo tempo, e a ocorrência das colisões. Para que o protocolo funcione corretamente, essas colisões devem ser detectadas e os pacotes,

retransmitidos. Porém, a detecção de colisões, apesar de funcionar bem em redes cabeadas, é de difícil implementação em redes sem fio por duas razões:

- para implementar a detecção de colisões, é preciso que o dispositivo de rádio possa transmitir e receber ao mesmo tempo (*Full Duplex*), o que aumentaria significativamente os custos de produção de interfaces, pois implica a utilização de duas antenas que não produzam interferência entre si;

- em redes sem fio, não se pode garantir que todos os nós se ouçam (princípio fundamental para detecção de colisões). Ou seja, o fato de uma estação não perceber atividade no meio de comunicação não significa que o meio esteja completamente livre, pode ser que estejam ocorrendo transmissões, mas essas transmissões simplesmente não estão alcançando a estação. Essas estações, cuja transmissão não alcança todos os nós, são conhecidas como nós escondidos (*hidden nodes*) ou problema do terminal oculto já descrito na seção 2.3 assim como o problema do desvanecimento.

A fim de contornar as limitações acima, o IEEE 802.11 implementa mecanismos para evitar colisões e mecanismos para identificação positiva da entrega de mensagens ou reconhecimento/retransmissão de camada de enlace - *Automatic Repeat Request* (ARQ).

O mecanismo de *Collision Avoidance* (CA) possui a seguinte estrutura de funcionamento: uma estação, antes de transmitir, ouve o meio; se este está ocupado, a estação adia a sua transmissão usando um mecanismo de *Backoff* aleatório exponencial. Se o meio permanece livre por certo período de tempo — chamado de Espaço Interquadros Distribuído - *Distributed Inter Frame Space* (DIFS) —, a estação transmite. A estação que recebe a transmissão verifica o pacote recebido usando *Cyclic Redundancy Check* (CRC) e, caso o pacote tenha sido recebido sem erros, espera um curto período de tempo, conhecido como Espaço Curto Interquadros - *Short Inter-Frame Spacing* (SIFS) e envia uma mensagem ACK de confirmação de recebimento para o transmissor. A recepção da mensagem ACK indica ao transmissor que a transmissão foi bem sucedida e que, portanto, no seu decorrer, não houve colisões ou interferências. Caso a mensagem não seja recebida, o transmissor tentará reenviar a mensagem, até que a recepção seja confirmada; ou até que seja excedido o limite máximo de tentativas de reenvio. A Figura 2.11 ilustra os reconhecimentos de camada de enlace do padrão 802.11 descrito acima.

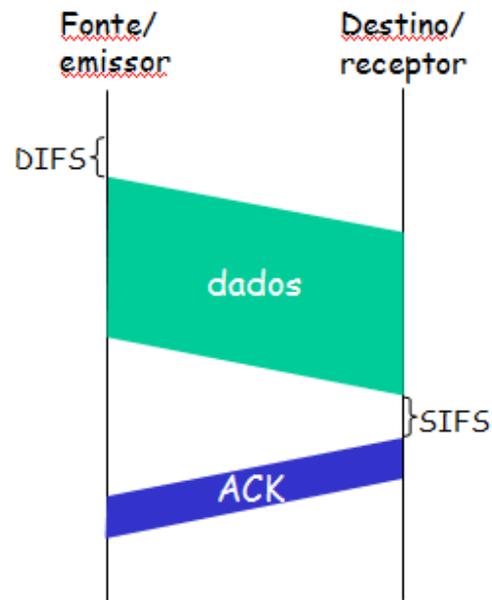


Figura 2.11 802.11 usa reconhecimentos na camada de enlace

O protocolo IEEE 802.11, com a finalidade de otimizar o uso do meio de transmissão, define alguns mecanismos adaptativos e parâmetros, cuja configuração permite a maior adequação do protocolo a certas aplicações e cenários de uso. Antes de um pacote ser dado por perdido a camada MAC tenta reenviá-lo. Existem dois limites para o número de tentativas de reenvio de um pacote: *short retry limit* e *long retry limit*. O primeiro, *short*, aplica-se aos quadros menores que o parâmetro *RTS Threshold*. O segundo, *long retry limit*, reserva-se aos quadros maiores. Os valores-padrão de *short retry limit* e de *long retry limit* são, respectivamente, sete e quatro; e o de *RTS Threshold* é de 2.347 octetos, segunda a norma IEEE 802.11 (IEEE, 2007).

Os pacotes enviados sobre IEEE 802.11 podem ser divididos em partes menores — chamadas de quadros de transmissão — antes de serem transmitidos pela camada MAC. O objetivo da fragmentação dos pacotes em quadros é aumentar a probabilidade de entrega de um pacote, pois, quanto menores os pacotes, maiores as chances de sucesso da transmissão. Além disso, a perda de um quadro exige a retransmissão apenas do quadro perdido e não do pacote inteiro, reduzindo o tempo gasto em retransmissões. A fragmentação é controlada pelo parâmetro *Fragmentation Threshold*, cujo valor máximo é de 4.096 octetos, sendo que o valor-padrão é de 2.346 octetos. Ou seja, o tamanho máximo de um quadro de transmissão é de 4.096 octetos e pacotes maiores do que 2.346 octetos são normalmente fragmentados em dois ou mais quadros de transmissão (IEEE, 2007).

Devido à existência de *hidden nodes*, pode ser necessária a requisição de uso exclusivo do meio de comunicação por parte de uma estação móvel. Essa requisição é feita usando-se um mecanismo conhecido como *Request To Send/Clear To Send* (RTS/CTS). Esse recurso é especialmente útil em ambientes sujeitos a altas taxas de colisões ou na transmissão de pacotes grandes.

Nas versões preliminares de IEEE 802.11, o uso do mecanismo RTS/CTS era obrigatório, mas após algumas revisões o seu uso tornou-se opcional, sendo empregado apenas quando necessário ou requisitado (KUROSE; ROSS, 2006). Seu funcionamento ocorre da seguinte maneira: o parâmetro *RTS Threshold*, cujo valor-padrão é 2.347 octetos, define o tamanho máximo de um quadro que pode ser enviado sem a execução do mecanismo RTS/CTS. Para enviar quadros maiores do que *RTS Threshold*, o transmissor envia uma mensagem RTS (*Request To Send*) e aguarda uma mensagem CTS (*Clear To Send*), para só então enviar o quadro.

Quanto menor o valor de *RTS Threshold*, maior a utilização do mecanismo RTS/CTS e maior a troca de mensagens, o que implica sobrecargas que reduzem o aproveitamento da capacidade da rede. Por outro lado, a utilização do mecanismo reduz a incidência de colisões, diminuindo a perda de pacotes (CONCEIÇÃO, 2006).

Assim como nas redes celulares, o processo de migração (*handoff*) em redes IEEE 802.11 consiste em mover-se de uma área de cobertura para outra, ou seja, consiste em mover-se de um PA para o outro. Idealmente, os *handoffs* deveriam ser realizados sem a perda de conexão ou de dados. A política e os passos para execução de *handoffs* estão delineados no padrão IEEE 802.11f. Os passos básicos para execução de um *handoff* são: *scanning* e reassociação. O *scanning* consiste na busca por um novo PA, podendo ser passivo (unidade móvel apenas “escuta”) ou ativo (unidade móvel manda uma mensagem requisitando resposta dos pontos de acesso e então “escuta” as respostas). Esses procedimentos, no entanto, foram aperfeiçoados na especificação 802.11r (*fast handoff*).

2.6 Padrão 802.11a

No ano de 1999, o IEEE publicou duas novas especificações para redes sem fio de banda larga, uma delas foi a especificação 802.11a, que descreveu um protocolo que permitia atingir taxas de 54 Mbps, usando a banda de frequência de 5GHz. Naquela ocasião, um desenvolvimento

pequeno foi feito naquela faixa de frequência, o qual atrasou a introdução dessa tecnologia no mercado por muitos anos. Em 2001, os primeiros produtos baseados no IEEE 802.11a começaram a aparecer no mercado, e em 2002, muitos fabricantes de redes sem fio estavam fornecendo algum tipo de produto 802.11a.

Algumas características:

Taxas de dados: 6, 9, 12, 18, 24, 36, 48, 54 Mbps, dependendo da SNR. A Figura 2.12 mostra a cobertura aproximada (sem obstruções) de um PA 802.11a.

Alcance de transmissão: 100 metros outdoor e 10 metros indoor.

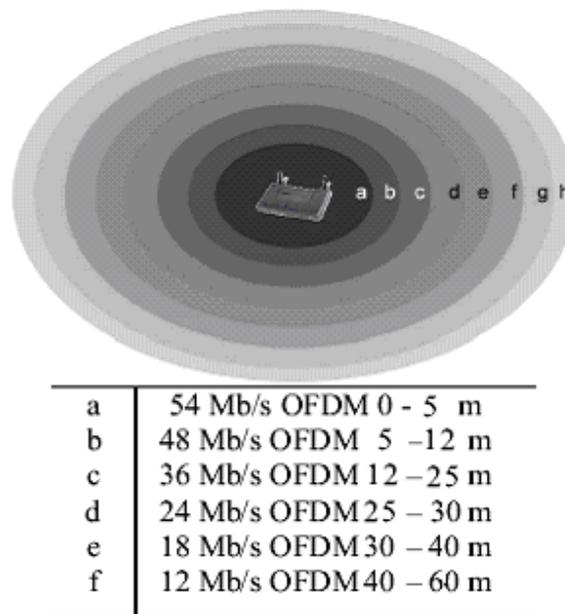


Figura 2.12 Taxa de dados teórica de um PA 802.11a (DÍAZ; DÍAZ, 2006)

Frequências: banda ISM 5.15-5.25, 5.25-5.35, 5.725-5.825 GHz .

Vantagens e Desvantagens: trabalha na faixa ISM e usa a faixa de 5GHz menos congestionada que a banda ISM 2.4 GHz. Apresenta como desvantagem o fato do desvanecimento ser maior para frequência de 5 GHz do que em 2.4 GHz.

2.7 Padrão 802.11b

O padrão 802.11b foi publicado no mesmo tempo que o padrão 802.11a, mas devido ao fato de usar a frequência de 2,4GHz, essa tecnologia atingiu mais rapidamente o mercado. Essa especificação tem taxas de dados que variam de 2 a 11 Mbps, trabalha na faixa de frequência de

2,4GHz usualmente chamada de Industrial, Científica e Médica ou ISM, sua técnica de modulação é a *Direct Sequence Spread Spectrum* (DSSS) e tem 11 canais disponíveis na América, dos quais alguns são recomendados evitar a superposição: canal 1, 6 e 11.

A Figura 2.13 mostra a cobertura aproximada (sem obstruções) de um PA 802.11b. Sustenta uma taxa de dados de 11 Mbps para uma distância até 48 metros (área a). No anel central (área b) pode alcançar taxas de dados de até 5.5 Mbps, para uma distância entre 48 e 67 metros. Finalmente, na área exterior(área c) pode alcançar taxas de dados de até 2Mbps, para uma distância entre 67 e 82.2 metros (DÍAZ; DÍAZ, 2006).

Alcance de transmissão: 300 metros outdoor e 30 metros indoor.

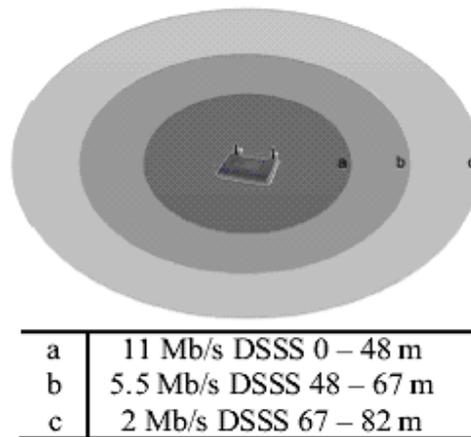


Figura 2.13 Taxa de dados teórica de um PA 802.11b (DÍAZ; DÍAZ, 2006)

Vantagens e Desvantagens: muitos sistemas já instalados e muita experiência, disponível no mundo inteiro, trabalha na faixa ISM, possui muitos fabricantes, integrado em *laptops*. Apresenta como desvantagem o fato da banda ISM 2,4 GHz ter muita interferência e o *throughput* máximo ser baixo.

2.8 Padrão 802.11g

Esse padrão aparece em 2003 e como o padrão 802.11a sua taxa de dados é de até 54 Mbps, mas somente como o padrão 802.11b, ele também opera na mesma porção do espectro de frequência de rádio 2.4GHz (ISM) por meio da modulação OFDM. Os dispositivos 802.11g podem também trabalhar em velocidades de até 11 Mbps, então os dispositivos 802.11b e

802.11g podem coexistir sob a mesma rede; e sua compatibilidade com o padrão b o torna atrativo. Da mesma forma que o 802.11b, ele conta com 11 canais disponíveis na América, e também salta os três canais sem superposição 1, 6 e 11. Na Figura 2.14 mostra as taxas de dados teórica para um PA 802.11g sem obstruções.

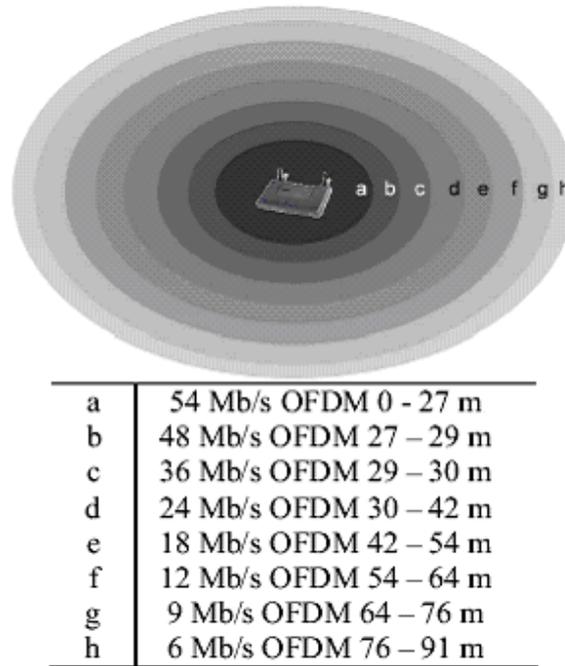


Figura 2.14 Taxa de dados teórica de um PA 802.11g (DÍAZ; DÍAZ, 2006)

Alcance de transmissão: 400 metros outdoor e 100 metros indoor.

Algumas especificações suplementares do padrão IEEE 802.11:

O IEEE 802.11f, a recomendação de práticas para implementação de handoff ;

A especificação 802.11i aumentou consideravelmente a segurança, definindo melhores procedimentos para autenticação, autorização e criptografia (CONCEIÇÃO, 2006);

A especificação 802.11e, agregando qualidade de serviço (QoS) às redes IEEE 802.11.

O padrão 802.11n usa múltiplas antenas para transmissão e recepção, *Multiple-Input Multiple-Output* (MIMO), atingindo taxa nominal de transmissão de até 600 Mbps.

O 802.11k, métricas para avaliação da conectividade; 802.11p, redes sem fio para ambientes veiculares (alta mobilidade); 802.11r, otimização do *handoff*; 802.11s, interconexão automática entre pontos de acesso (*Mesh Networks*); 802.11t, avaliação de desempenho de redes sem fio; 802.11u, uniformização da interconexão entre redes; 802.11v, gerenciamento de redes; e,

por fim, 802.11w, cuja finalidade é aumentar a proteção dos quadros de transmissão contra interferências externas.

Todas as normas IEEE no domínio das redes sem fio são soluções muito econômicas, tanto ao nível do equipamento como devido ao fato das bandas de frequência utilizadas não necessitarem de licenciamento. Este fato acarreta por si só limitações importantes, como é o caso da interferência a que está sujeita a banda ISM de 2,4GHz, que é usada para inúmeras aplicações desde ligações satélite, passando por telefones sem fio até à frequência de trabalho de fornos microondas. Assim, em tempo de projeto esta limitação necessita ser considerada.

2.9 Considerações Finais

Em relação ao impacto do meio no projeto e desempenho das redes sem fio temos que as camadas físicas PHYs usadas no padrão IEEE 802.11 são fundamentalmente diferentes do meio cabeado. Por esta razão, pode-se citar que as camadas PHYs:

- a) Usam um meio que não é absoluto ou que pode possuir regiões não observáveis nas quais os transceptores (*transceivers*) são incapazes de receber quadros da rede.
- b) São desprotegidas de outros sinais que podem estar compartilhando o meio.
- c) Comunicam-se sobre um meio significativamente menos confiável do que nas camadas físicas de redes cabeadas.
- d) Tem topologias dinâmicas.
- e) Falta de conectividade completa e conseqüentemente a hipótese normalmente feita de que toda estação (STA) ou hospedeiro sem fio pode ouvir toda estação é inválida (as STAs podem estar escondidas umas das outras – problema do terminal oculto)
- f) Podem experimentar interferência de redes IEEE 802.11 logicamente separadas operando em áreas justapostas.

Por causa das limitações nas distâncias atingidas pela camada física PHY sem fio, as WLANs tem o objetivo de cobrir distâncias geográficas razoáveis. Quando provendo serviços com QoS deveria ser entendido que a camada MAC se esforça para dar garantias de serviço com QoS dentro das limitações das propriedades do meio identificados acima. Em outras palavras, particularmente no espectro não licenciado, garantias reais não são frequentemente possíveis. Entretanto, gradações de serviço são sempre possíveis; e em ambientes suficientemente controlados, garantias de QoS podem verdadeiramente acontecer (IEEE, 2007).

Essas limitações do protocolo sugerem o uso de técnicas de planejamento para garantir parâmetros de qualidade de serviço de aplicações nas redes de nova geração onde prevalece o uso de multimídias como voz sobre IP.

CAPÍTULO 3

TÉCNICAS DE INTELIGÊNCIA COMPUTACIONAL PARA APOIAR A ABORDAGEM PROPOSTA.

3.1 Considerações Iniciais

O suporte à decisão está associado frequentemente a aplicações envolvendo análise e exploração dos dados e informações históricas de uma organização, de modo a prover um mecanismo de alto nível para auxiliar os processos de tomada de decisão. É imperativo que esses mecanismos sejam implementados em sistemas computacionais face à grande quantidade de dados que são manipulados e à própria condição humana, relacionada com a limitação para a análise de grande volume de informações, estresse, erro, desatenção, e outros. As soluções computacionais utilizadas são compostas, em sua maioria, por um conjunto de métodos, técnicas e ferramentas de áreas como bancos de dados, estatística, e inteligência computacional. Um exemplo típico e proeminente dessas soluções se enquadra na área denominada Mineração de Dados (MD).

As técnicas de MD podem ser utilizadas para diversos propósitos, tais como classificação, regressão, modelagem de dependência, entre outras. Esta seção discorrerá sobre o processo de descoberta de conhecimento e aprofundar-se-á na etapa de mineração de dados, na qual destacamos, dentre os métodos existentes, devido sua aplicabilidade e eficiência, as redes Bayesianas, os algoritmos genéticos e o enxame de partículas.

A primeira se destaca como uma das melhores técnicas de inteligência computacional, tendo se tornado um dos principais métodos para se trabalhar com incerteza no campo da inteligência artificial (HUANG et al., 2004). Particularmente, esse fato é devido às suas propriedades analíticas excepcionais de representar domínios, correlacionar e estudar as dependências entre suas variáveis, o que permitem mais facilmente visualizar e compreender as relações entre as variáveis do ambiente; consistindo em um fator decisivo e de grande valia para a representação e análise do domínio pelos usuários.

A segunda é uma ferramenta que utiliza o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto, baseando-se no trabalho de Charles Darwin. Os AGs buscam a melhor solução para

um dado problema, percorrendo o espaço de possíveis soluções, utilizando-se das informações do próprio domínio para encontrar soluções cada vez melhores.

Particle swarm optimization(PSO) ou otimização através do enxame de partículas é um algoritmo de busca global primeiramente proposto por (KENNEDY; EBERHART, 1995). Esse algoritmo é baseado na inteligência do enxame, onde uma grande população coletivamente busca uma solução. Um exemplo é um enxame de abelhas procurando uma flor para polinizar. O comportamento de uma partícula é determinado juntamente pela experiência coletiva do enxame e de sua experiência pessoal. A partícula passeará em direção ao espaço onde teve mais sucesso (melhor local) e onde o enxame inteiro teve mais sucesso (melhor global). Embora, o algoritmo de otimização por enxame de partículas use o processo aleatório, é usualmente mais efetivo do que uma simples busca aleatória.

A motivação para incorporar alguma inteligência e automação de tarefas no planejamento da rede é direcionada pela necessidade de fornecer uma alta qualidade de serviço para os usuários garantindo que os objetivos do nível de serviço para rede serão mantidos; pela necessidade de correlacionar eventos das camadas inferiores de gerenciamento para determinar estratégias nas superiores (*cross-layer*); pela necessidade de aumentar a sofisticação requerida para diagnóstico, devido à maior complexidade do sistema.

3.2 – Processo de Descoberta de Conhecimento em Bases de Dados - Knowledge Discovery Database (KDD)

O processo de KDD consiste em produzir conhecimento a partir de uma base de dados inserida pelo usuário, a fim de encontrar informações coerentes ao que é desejado. Tem por principal objetivo encontrar padrões válidos e potencialmente úteis, de modo que possam ser utilizados pelos usuários nos níveis decisórios.

O KDD desponta como uma tecnologia capaz de cooperar amplamente na busca do conhecimento embutido nos dados, de modo a apresentarem padrões que destoam, muitas vezes, do restante da massa de dados. O KDD consiste da combinação de métodos e ferramentas de estatística, Inteligência Artificial, visualização e banco de dados para encontrar padrões e regularidades nos dados (MANNILA, 1997).

O uso e aplicação dos termos de KDD e *data mining* são muito semelhantes na literatura, sendo muitas vezes utilizados para representar a mesma idéia (SYMEONIDIS; MITKAS, 2006). Basearemos-nos aqui no conceito de *data mining* como etapa componente do processo de KDD.

O KDD, na verdade, é um conjunto de atividades contínuas que geram um conhecimento a respeito da base de dados, sendo dividido em etapas: a de limpeza, a de enriquecimento, a de codificação, a de mineração de dados (*Data Mining*) e a de interpretação do conhecimento descoberto. Um esquema apresentado por Fayyad (1996) das fases que compõem o processo KDD pode ser visto na Figura 3.1.

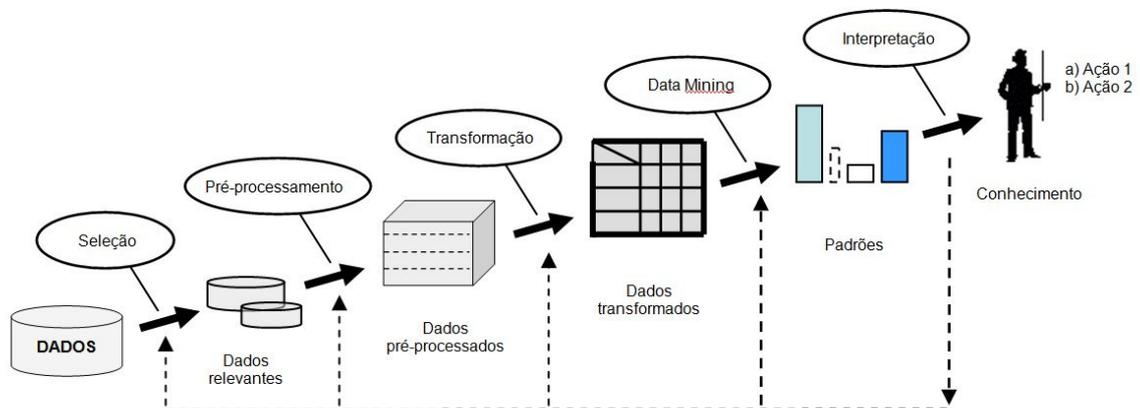


Figura 3.1 - Principais tarefas de mineração de dados (REZENDE, 2003)

A primeira fase, conhecida também como seleção, visa agrupar os dados que são pertinentes ao domínio que está sendo estudado e reduzir o domínio dos dados que serão analisados a uma amostra que represente fielmente a base de dados nos aspectos relevantes à análise desejada, exigindo logo de início uma boa compreensão do domínio por parte do responsável pela aplicação do processo KDD.

O pré-processamento é uma parte crucial no processo de KDD, pois a qualidade dos dados vai determinar a eficiência dos algoritmos de mineração. Nesta etapa deverão ser realizadas tarefas que eliminem dados redundantes e inconsistentes, recuperem dados incompletos e avaliem possíveis dados discrepantes ao conjunto (*outliers*). O auxílio de um especialista do domínio é fundamental, pois na maioria dos casos apenas alguém que realmente entende do assunto é capaz de dizer se um dado é um *outlier* ou um erro de digitação.

Na fase de transformação, a base de dados já pré-processada é formatada de tal forma que a ferramenta/ algoritmo de *data mining* possa analisá-lo, extraindo o conhecimento desejado. Nesta etapa, o conjunto de dados deve ser organizado segundo as requisições e particularidades da técnica de extração de conhecimento que será utilizada na etapa de *data mining*.

A fase de *data mining* é considerada o núcleo do processo de KDD, em razão de ser nela que são efetivamente aplicados os métodos e algoritmos que possibilitam a extração de conhecimentos a partir da base de dados.

Esta fase é a responsável pela transformação de dados em informações. A mineração de dados está relacionada com a descoberta de novos fatos, regularidades, restrições, padrões e relacionamentos e não apenas consultas complexas e elaboradas com a finalidade de confirmar uma hipótese em função dos relacionamentos existentes.

A mineração de dados surgiu da necessidade do emprego de técnicas e ferramentas que permitissem transformar, de maneira inteligente e automática, os dados disponíveis em informações úteis.

As tarefas básicas, realizadas via processo de MD, são comumente classificadas em duas categorias:

- Descritivas: concentram-se em encontrar padrões que descrevam os dados, caracterizando as propriedades gerais desses dados, de forma interpretável pelos seres humanos;
- Preditivas: realizam inferência nos dados correntes para construir modelos, que serão utilizados para reedições do comportamento de novos dados.

Na Figura 3.2, são apresentadas as principais tarefas de MD e suas classificações quanto às categorias acima citadas.

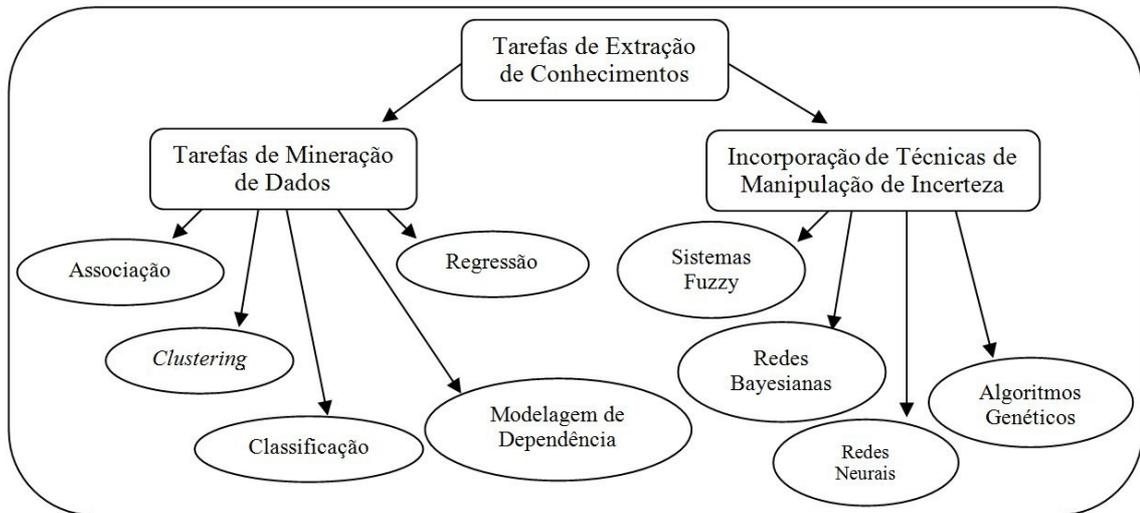


Figura 3.2 - Principais tarefas de mineração de dados (REZENDE, 2003)

A classificação visa o mapeamento de um determinado caso (registro do conjunto de dados) dentro de uma das várias classes pré-definidas (e.g. regras de classificação a respeito de doenças podem ser extraídas de um conjunto de casos conhecidos e usadas para fazer diagnóstico em novos pacientes, baseados em seus sintomas). De modo simplificado, a tarefa de regressão é conceitualmente a mesma da classificação, sendo que na atividade de classificação, a classe é categórica, enquanto na regressão, a classe representa um valor contínuo (e.g. determinar o número de usuários de uma aplicação para uma determinada rede celular em um mês futuro).

As regras de associação determinam as relações entre os atributos de uma base de dados (e.g. regras de associação podem descrever que itens são comumente comprados juntamente com outros em um supermercado).

Outra tarefa descritiva a ser destacada é a de *clustering*. Também conhecida como análise de agrupamentos, essa tarefa permite criar, a partir de grandes conjuntos de dados, agrupamentos de dados menores e com características semelhantes. Nas tarefas de *clustering*, não há necessidade da determinação prévia de classes (e.g. investigar quais os diferentes grupos de consumidores de drogas, com base em suas características pessoais).

Por fim, a tarefa de modelagem de dependência, na qual estão incluídas as RBs, permite codificar o relacionamento probabilístico entre os atributos de um conjunto de dados.

A partir da definição da tarefa de MD a ser realizada, é possível determinar qual tipo de algoritmo será utilizado para realizar o processo de extração propriamente dito. Os modelos induzidos dos dados seguem geralmente os padrões estatísticos, neurais, simbólicos, de dependências probabilísticas ou baseadas na teoria de algoritmos genéticos.

Um modelo estatístico típico é gerado pelo método de regressão (e.g. regressão linear) e pode ser representado por um sistema de equações. Um modelo neural é representado como uma arquitetura (e.g. rede *feedforward*) de nós e conexões (com pesos) entre eles, além de uma função de aprendizado. Já os modelos simbólicos são geralmente representados por regras do tipo SE-ENTÃO ou árvores de decisão. Enquanto os modelos de dependências típicos, cujos maiores expoentes são redes Bayesianas, estabelecem uma estrutura de relacionamento causal entre as variáveis aleatórias de um domínio de aplicação. Por fim, os modelos baseados em algoritmos genéticos têm sido aplicados nas operações de classificação e sumarização.

Além disso, são amplamente utilizadas soluções híbridas, as quais combinam os modelos supracitados com vistas à otimização do processo de extração de conhecimento em termos, por exemplo, do aprendizado, da estimativa de parâmetros e da melhoria da interpretabilidade dos padrões descobertos (GOLDSCHMIDT; PASSOS, 2005).

A escolha do melhor algoritmo para MD é frequentemente crítica, pois é sabido que nenhum deles tem desempenho ótimo em todos os domínios de aplicação (SALZBERG, 1997). A seleção desses algoritmos é realizada pelo analista e deve ser definida nas restrições do domínio e/ou nas preferências do usuário final (e/ou especialista no domínio). Considerando essas restrições, o analista pode selecionar o algoritmo baseado em alguns parâmetros como, por exemplo, o tipo de aprendizado, linguagens de representação e desempenho.

É importante ressaltar que, além da observação desses parâmetros, as avaliações experimentais desempenham um papel fundamental na seleção de um algoritmo, uma vez que não existem métodos formais para decidir qual o melhor algoritmo para um determinado domínio de aplicação (SALZBERG, 1997).

O processo de KDD não termina quando os padrões nos dados de entrada são extraídos. É preciso realizar ainda uma etapa, comumente chamada pós-processamento ou interpretação, a qual deve permitir que o usuário entenda e possa julgar a utilidade do conhecimento extraído, contrastando-o com o conhecimento do especialista do domínio. Essa interação pode facilitar a busca das causas de possíveis erros ocorridos ao longo de todo esse processo.

Os conhecimentos extraídos são apresentados ao usuário para interpretá-los, avaliando-os quanto à sua qualidade e/ou utilidade, para que possam ser utilizados na tomada de decisões.

Segundo (TURBAN; ARONSON, 2001), as técnicas de inteligência computacional tratam incerteza como um processo contendo três passos básicos, conforme apresentado na Figura 3.3.

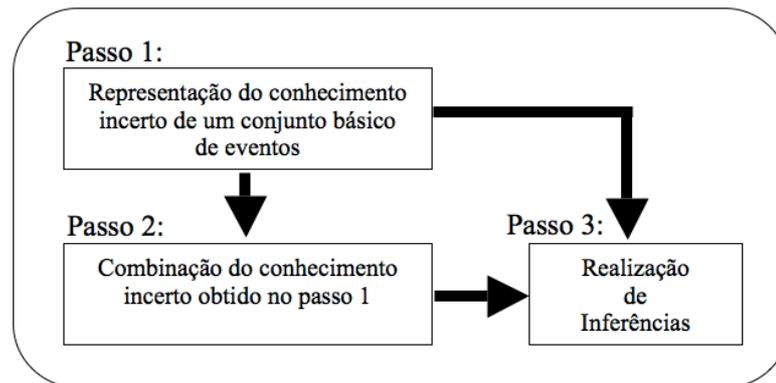


Figura 3.3 - Os três principais passos para a manipulação de incerteza com técnicas de inteligência computacional

No passo 1, o conhecimento inexato é obtido, por meio de interações com o especialista de um domínio específico e/ou induzido a partir de dados, e representado geralmente de modo numérico (e.g. valores de probabilidade), gráfico (e.g. diagrama de influência) ou simbólico (e.g. regras *fuzzy*). O conhecimento básico modelado no passo 1 pode ser diretamente usado para a realização de inferências (passo 3). Entretanto, na maioria dos casos reais, é necessário combinar os padrões obtidos no passo 1 a partir do uso de robustas técnicas de raciocínio incerto, tais como sistemas *fuzzy* e redes Bayesianas. Por fim, o passo 3 funciona como uma máquina de inferência para induzir o conhecimento obtido a partir dos passos 1 e 2.

Desse modo, para que o fluxo de execução do processo mostrado na Figura 3.3 possa ser realizado satisfatoriamente, é necessário prover modelos cada vez mais confiáveis e de fácil interpretação do conhecimento extraído, de forma que seja possível, identificar o quanto esse conhecimento é interessante e relevante para o suporte de seus processos decisórios. Alguns destes modelos serão apresentados de forma mais geral e posteriormente, quando necessário, serão aprofundados.

3.3 – Algoritmos de Inteligência Computacional

O uso de algoritmos de inteligência computacional busca, tipicamente, a imitação em computador de diferentes aspectos da inteligência humana, a qual é obtida por intermédio de diferentes estratégias e metodologias. É a área do conhecimento que lida com o desenho de algoritmos inspirados em fenômenos biológicos e que permitem a resolução de problemas complexos.

O cenário mundial na área de computação aponta, cada vez mais, para o desenvolvimento e a aplicação de sistemas computacionais inteligentes. Esses sistemas utilizam e integram uma série de técnicas da Inteligência Artificial (IA) para reproduzir aspectos do comportamento humano como percepção, raciocínio, adaptação e aprendizado, em um novo paradigma para a IA: a Inteligência Computacional. Essas técnicas abrangem:

- Redes Neurais;
- Algoritmos Genéticos;
- Lógicas Clássica, Não Monotônicas e Nebulosa;
- Redes Bayesianas;
- Enxame de partículas

As Redes Neurais Artificiais (RNAs) são dispositivos computacionais não-lineares, inspirados na funcionalidade dos neurônios biológicos. Elas têm atraído uma enorme atenção por possuírem uma variedade crescente de aplicações, como reconhecimento de padrões, otimização, interpretação de imagens, previsões em sistemas complexos, etc. As características de plasticidade e generalização das Redes Neurais capacitam-nas a trabalhar também satisfatoriamente em tarefas como percepção, aprendizado, aquisição de conhecimento e processamento de linguagem natural.

Os algoritmos genéticos são procedimentos de busca baseados na mecânica da genética e da seleção natural, com aplicabilidade em problemas de otimização em geral e, mais particularmente, no aprendizado automático (HOLLAND, 1975). A evolução das espécies se dá pela seleção dos indivíduos mais aptos ao ambiente em que vivem. Estes têm mais chance de sobreviver e de gerar filhos que herdam suas características. Esta forma de otimização das espécies através das gerações que os AGs imitam, onde o ambiente corresponde ao problema a ser otimizado e os indivíduos às possíveis soluções do problema.

Os algoritmos genéticos têm sido usados para resolver problemas em várias áreas de estudo, principalmente na área de otimização combinatória, como por exemplo, o problema

clássico do caixeiro viajante, alocação de recursos, geração automática de programas e, mais recentemente, treinamento e definição de topologias de redes neurais.

A lógica matemática é responsável por, através de sua linguagem formal, justificar e parametrizar o processo de aprendizado e de raciocínio feitos sobre o conhecimento, pelas técnicas aqui apresentadas. A lógica nebulosa tem a capacidade de modelar o raciocínio incompleto e impreciso, sendo aplicada na solução de problemas de senso comum. Mais especificamente, a lógica *fuzzy* tem encontrado uma gama muito grande de aplicações, como em interpolação espacial, sistemas de apoio a decisão, raciocínio aproximado e aprendizado.

Uma RB é um grafo acíclico dirigido, composto por uma estrutura qualitativa, representando as dependências entre suas variáveis; e quantitativa, avaliando, em termos probabilísticos, essas dependências (CHEN, 2001). Juntos, esses componentes propiciam uma representação eficiente da distribuição de probabilidade conjunta (DPC) de um conjunto de variáveis X_i de um determinado domínio (PEARL, 1988).

Os métodos mais populares inspirados em enxame nas áreas de inteligência computacional são: otimização por colônia de formigas - *ant colony optimization* (ACO) e a otimização por enxame de partículas - *particle swarm optimization* (PSO). ACO foi inspirada no comportamento das formigas e tem muitos trabalhos desenvolvidos em problemas de otimização discreta (ACO, 2011).

O conceito de enxame de partículas foi originado como uma simulação do sistema social. A intenção original era graficamente simular a coreografia dos pássaros de um grupo de pássaros ou cardume de peixes. No entanto, o modelo está sendo usado em otimização (PSO, 2011).

No contexto da análise e mineração de dados, abordaremos mais profundamente as RBs, os AGs e o enxame de partículas. Inicialmente, as RBs foram eleitas por despontarem como um dos principais métodos para a modelagem da incerteza, permitindo tanto a previsão quanto o diagnóstico de eventos; além de possibilitarem a codificação dos relacionamentos probabilísticos entre as variáveis que definem um determinado domínio (RUSSEL; NORVIG, 2003) e utilizadas para representar processos probabilísticos e causais. Os AGs, por serem empregados em problemas complexos de otimização fundamentalmente em virtude de fatores como: funcionam tanto com parâmetros contínuos como discretos, ou ainda com uma combinação dos mesmos; realizam buscas simultâneas em várias regiões do espaço de busca, pois trabalham com uma população e não com um único ponto; utilizam informações de custo ou recompensa e não

derivadas ou outro conhecimento auxiliar; otimizam parâmetros de funções objetivos com superfícies complexas, reduzindo a incidência de mínimos locais. E o enxame de partículas, que por ter vínculos com a computação evolucionária, tem um conceito simples e o paradigma pode ser implementado em poucas linhas de código. Requer somente operadores matemáticos primitivos e é computacionalmente não oneroso em termos de memória e velocidade. Alguns testes demonstraram que o PSO é efetivo na resolução de vários problemas e substitui com eficiência a função do AG.

Importante ressaltar que outro fator determinante foi à expertise da equipe dos laboratórios associados (LPRAD – Laboratório de Planejamento de Redes de Alto Desempenho, LEA – Laboratório de Eletromagnetismo Aplicado e LAPS – Laboratório de Processamento de Sinais) nas RBs e AGs os quais foram amplamente aplicados em projetos de pesquisa, trabalhos de conclusão de curso, dissertações de mestrado, teses de doutorado e artigos publicados internacionalmente.

3.3.1 – Redes Bayesianas

Como apontado previamente, pode-se entender uma RB como um modelo gráfico que representa as relações de causalidade das variáveis de um determinado problema, ela é composta por:

- Um conjunto de nós que representam as variáveis aleatórias $X = \{X_1, \dots, X_n\}$ do domínio (atributos da base de dados);
- Conjunto de arcos ou setas conectando os nós da rede, definindo assim a relação de dependência condicional e de causalidade;
- Uma tabela de probabilidades condicional (TPC) para cada nó, que quantifica os efeitos que os nós-pais (Pa) exercem sobre esse nó. Os nós-pais de um nó n são todos aqueles que possuem setas apontando para n . Um exemplo de RB é descrito na Figura 3.4.

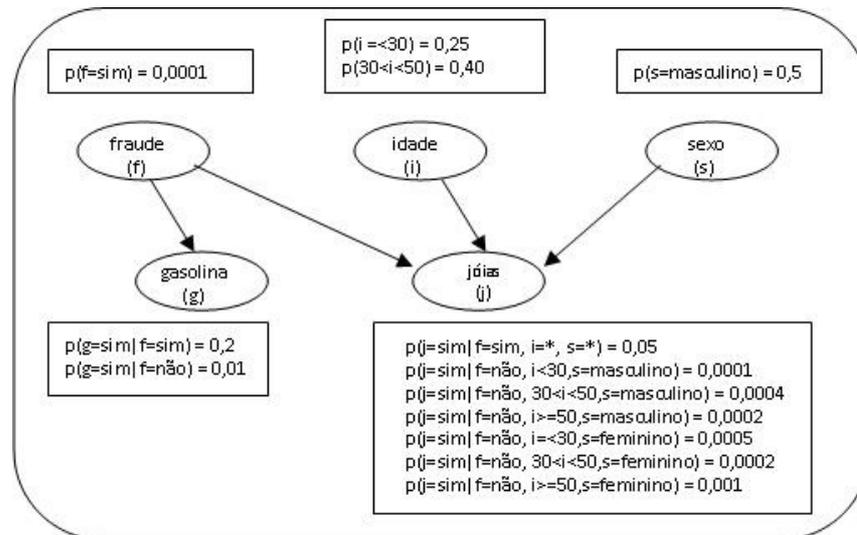


Figura 3.4 - Exemplo de uma rede Bayesiana (HECKERMAN, 1997)

Neste exemplo, os nós fraude, idade, gasolina, jóias e sexo correspondem às variáveis do domínio, dessa forma $X = \{fraude, idade, sexo, gasolina, jóias\}$.

As variáveis fraude, idade e sexo, por serem raiz, possuem apenas as respectivas probabilidades a priori $P(X_i = verdadeiro)$ e $P(X_i = falso)$. Os nós gasolina e jóias por sua vez apresentam distribuições de probabilidade condicional $P(X_i | Pais(X_i))$, que são relações de dependência quantitativa entre os nós da rede.

É possível inferir sobre as dependências condicionais que se estabelecem entre as variáveis através do gráfico da rede, bastando evidenciar a ocorrência de um determinado estado em uma ou mais variáveis da rede, propagando, dessa forma, o efeito das observações pela rede.

Através das inferências, qualquer análise, pergunta ou hipótese que se deseje fazer ao modelo torna-se possível. Os questionamentos levantados inicialmente sobre o domínio podem agora ser estudados, evidenciando os devidos eventos nos atributos da rede e, dessa forma, computando e atualizando as probabilidades das demais variáveis da RB.

Para calcular a inferência, são utilizados os cálculos de probabilidade condicional e probabilidade condicional conjunta (representados a seguir) do teorema proposto por Bayes. A regra de Bayes fundamenta atualmente a base matemática de todos os sistemas que trabalham com inferência probabilística.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A)P(A)}{P(B)} \quad (3.1)$$

$$P(A|B \cap E) = \frac{P(B|A \cap E)P(A|E)}{P(B|E)} \quad (3.2)$$

Generalizando, tem-se:

$$P(A = v_i | B) = \frac{P(B | A = v_i)P(A = v_i)}{\sum_{k=1}^{n_A} P(B | A = v_k)P(A = v_k)} \quad (3.3)$$

Uma das grandes vantagens das RBs é a semântica deste modelo, a qual facilita, dada a inerente representação causal dessas redes, o entendimento e o processo de tomada de decisão, por parte dos usuários desses modelos (CHEN, 2001). Isto se deve, basicamente, ao fato de as relações entre as variáveis X_i do domínio poderem ser visualizadas graficamente, além de proverem um mecanismo de inferência que permite quantificar, em termos probabilísticos, a magnitude dos efeitos dessas relações.

Por meio da representação gráfica da RB é possível visualizar e compreender mais facilmente as relações entre as variáveis do ambiente, representando a distribuição de probabilidade conjunta para todas as variáveis. Além disso, a RB também permite que se reduza a complexidade da inferência.

3.3.1.1 - Construção de Redes Bayesianas

Para ilustrar o processo de construção de uma RB, considere o problema bastante simplificado da detecção de fraude em compras com cartões de crédito. Na Figura 3.4, esse exemplo é mostrado, na qual os arcos são desenhados da causa para o efeito, os quadros mostram a distribuição de probabilidade local associada a cada nó da RB, e os asteriscos representam a atribuição de quaisquer valores, dentre os possíveis, às variáveis. Desse modo, a estrutura da RB pode ser obtida seguindo os passos:

1. Selecionar o conjunto de variáveis que descrevem o domínio. Uma possível escolha para o problema de detecção de fraude seria: fraude(f), gasolina(g), jóias(j), idade(i) e sexo(s), representando se a compra é ou não fraudulenta, se houve ou não compra de gasolina nas últimas 24 horas, se houve ou não compra de jóias nas últimas 24 horas, o sexo e a idade do usuário do cartão de crédito, respectivamente.

2. Eleger uma ordem para essas variáveis. Uma possível ordem das variáveis para o problema de detecção de fraude seria: f, i, s, g e j.
3. Enquanto houver variáveis a serem consideradas:
 - a. Adicionar um nó à rede para cada variável.
 - b. Estabelecer um conjunto de nós-pais de X_i sobre o conjunto mínimo de nós já incluídos na rede, que satisfazem a propriedade de independência condicional. No exemplo, utilizando a ordem f, i, s, g e j, sugerida no passo 2, obtém-se:

$$P(i | f) = P(i)$$

$$P(s | f, i) = P(s)$$

$$P(g | f, i, s) = P(g | f)$$

$$P(j | f, i, s, g) = P(j | f, i, s)$$
 - c. Definir a TPC para X_i .

Vale ressaltar que, apesar de serem mostrados como uma seqüência simples, na prática, esses passos são geralmente interligados e complexos. Por exemplo, julgamentos de independência condicional e/ou causa-efeito podem influenciar na construção da RB.

Além disso, esse processo de construção considera apenas o conhecimento prévio (ou de fundo) do domínio. Em outras palavras, a rede deve ser concebida por intermédio da interação com o especialista do domínio. Essa interação tem a finalidade de identificar os relacionamentos entre as variáveis de interesse, para em seguida codificá-los na rede. Por exemplo, o especialista no problema da detecção de fraude pode identificar a influência direta que a idade exerce sobre a aquisição de jóias e até mesmo quantificar essa dependência (através dos valores de probabilidades condicionais). Na próxima subseção, é mostrado o aprendizado da estrutura e dos parâmetros (probabilidades) de uma RB a partir de dados.

3.3.1.2 - Aprendizado de Redes Bayesianas

A aprendizagem de RBs consiste em induzir, a partir de um conjunto de dados, as distribuições de probabilidades condicionais e identificar as relações de independência existentes nesse conjunto. Esse processo de aprendizagem considera dois aspectos: aprendizagem da estrutura, quando não se tem a priori definido pelo especialista do domínio, tal estrutura; e a aprendizagem

dos parâmetros, após a obtenção da estrutura, por intermédio das interações com o especialista ou induzida a partir dos dados.

Para um melhor entendimento desse processo, considere o exemplo de detecção de fraude em compras com cartão de crédito mostrado na Figura 3.4. Primeiramente, a RB que representa as relações entre as variáveis desse problema é especificada, por exemplo, pelo usuário. Em seguida, é necessário que seja especificado como a distribuição de probabilidade de cada nó será representada. No caso do problema da detecção de fraude, as variáveis foram discretizadas em um número de estados (valores) para que cada distribuição de probabilidade possa ser representada em uma tabela (TPC), por exemplo, idade foi discretizada dentro dos valores (≤ 30 , $30 - 50$, ≥ 50).

Finalmente, o algoritmo tenta estimar as probabilidades (parâmetros) da TPC baseado no conjunto de dados de treinamento. Por exemplo, a célula $P(i \leq 30)$ da TPC da variável i pode ser simplesmente calculada a partir do número de clientes do conjunto de dados de treinamento que tenham idade igual ou inferior a 30 anos. O parâmetro $P(j=sim|f=sim, i \leq 30, s=feminino)$ pode ser computado por intermédio da fração dos exemplos de treinamento onde a compra seja uma fraude, a idade do cliente seja igual ou inferior a 30 anos e o sexo seja feminino e que tenha comprado jóias nas últimas 24h.

Um ponto que merece ser destacado no processo de aprendizado de RBs é se todos os valores das variáveis são observados (não há valores de atributos ausentes) no conjunto de dados de treinamento ou se algumas não são consideradas. Assim, os métodos de aprendizagem devem considerar as seguintes situações:

- Estrutura da rede conhecida e conjunto de dados completos;
- Estrutura conhecida e conjunto de dados incompletos;
- Estrutura desconhecida e conjunto de dados completos;
- Estrutura desconhecida e conjunto de dados incompletos.

3.3.1.3 - Aprendizado da Estrutura de Redes Bayesianas

O aprendizado da estrutura de RBs a partir de dados completos pode ser realizado, via de regra, considerando dois paradigmas: busca e pontuação e baseado em independência condicional (CHENG et al., 1997).

No paradigma de busca e pontuação, a aprendizagem se realiza buscando uma estrutura que seja aderente aos dados. Em geral se inicia com um grafo sem arcos, então, usa-se algum método de busca gulosa que adicione um arco ao grafo. O passo seguinte consiste em usar uma função de pontuação para determinar se a nova estrutura é melhor que a anterior. Caso seja melhor, o novo arco é mantido. Esse processo continua até que nenhuma nova estrutura seja melhor que as anteriores.

Diferentes critérios de pontuação estão disponíveis na literatura para avaliar uma estrutura, tais como os descritos em (COOPER; HERSKOVITS, 1992), (LAM; BACCHUS, 1994) (HECKERMAN et al., 1995). Já o processo de busca por novas estruturas é realizado via métodos heurísticos. Para reduzir o espaço de busca, a maioria dos algoritmos requer ordenamento a priori dos nós.

Os algoritmos que utilizam o paradigma de análise de independência condicional procuram descobrir as dependências a partir dos dados, e então usam essas dependências para inferir a estrutura. As relações de dependência são avaliadas pelo uso de alguma classe de teste de independência condicional. Detalhes mais aprofundados destes tipos de algoritmos podem ser encontrados nos algoritmos descritos em (SPIRITES et al., 2001) e (CHENG et al., 1997).

Como forma de compreender os processos de aprendizado da estrutura de uma RB e em razão de ser mais comumente utilizado, serão destacados a seguir os principais básicos do paradigma de busca e pontuação.

Para isso, é necessário entender que o aprendizado da estrutura de RBs pode ser visto como processo de busca por uma estrutura que codifique a TPC para um conjunto de variáveis aleatórias X , dado um conjunto de dados D . Isto é, encontrar uma estrutura, em um possível espaço de hipóteses de estruturas S^h , avaliando as probabilidades a priori das hipóteses $S^h - P(S^h)$. Então, dado um conjunto de dados D , calcular as probabilidades condicionais que maximizam $P(S^h|D)$ (estrutura) e $P(\theta_{ijk}|D, S^h)$ (probabilidades condicionais das TPCs dos nós da estrutura da RB S^h).

O cálculo de $P(\theta_{ijk}|D, S^h)$ pode ser realizado conforme descrito na subseção anterior. O cálculo de $P(S^h|D)$ pode ser feito, via Regra de Bayes, da seguinte maneira:

$$P(S^h | D) = \frac{P(S^h)P(D | S^h)}{P(D)} \quad (3.4)$$

Sendo que $P(D)$ é independente da estrutura S^h . Dessa forma, para determinar a distribuição de probabilidade condicional das possíveis estruturas, é necessário calcular a verossimilhança marginal dos dados ($P(D|S^h)$) para cada estrutura (considerando a probabilidade a priori $P(S^h)$ de cada uma das estruturas) e então determinar a estrutura que codifica a TPC para X baseado nos valores máximos de verossimilhança. Este método, conhecido como abordagem Bayesiana completa (por considerar todas as possíveis estruturas de RB do espaço de hipóteses), é frequentemente inviável (HECKERMAN, 1997). Por exemplo, para se ter uma idéia, o espaço de hipóteses das estruturas das RBs para um conjunto formado por apenas três variáveis A , B e C é formado por 25 diferentes estruturas. Na Figura 3.5 são mostradas algumas dessas estruturas.

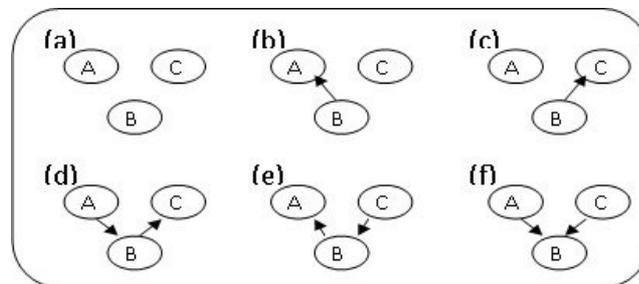


Figura 3.5 - Algumas estruturas possíveis de redes Bayesianas para as variáveis A , B e C .

Em problemas com um grande número de variáveis a serem consideradas é necessário o uso de outras abordagens. Entre as mais referenciadas na literatura e mais utilizadas pelos métodos de aprendizado de RBs, destaca-se a abordagem de Seleção do Modelo.

A tarefa básica da Seleção do Modelo é selecionar um modelo “bom” (i.e. uma “boa” hipótese de estrutura) a partir dos modelos possíveis e considerá-lo como se fosse o modelo “correto”. Esta abordagem pode suscitar várias questões:

- É possível obter resultados precisos na seleção do modelo com essa abordagem?
- Como decidir se o modelo é “bom” ou não?
- Como encontrar modelos “bons”?

A questão da precisão é difícil de ser respondida. No entanto, várias pesquisas mostram experimentalmente que a seleção de um único modelo “bom” frequentemente produz resultados bastante satisfatórios (HECKERMAN et al., 1995).

Quanto à segunda questão, é necessário estabelecer algum critério para medir o grau em que uma determinada estrutura de RB combina adequadamente o conhecimento de fundo

(estrutura da rede fornecida pelo especialista) com o conhecimento embutido nos dados. Um modelo bastante utilizado é o da probabilidade condicional relativa, calculada do seguinte modo:

$$\log P(D, S^h) = \log P(S^h) + \log P(D | S^h) \quad (3.5)$$

Como pode ser observado na equação 3.5, esse critério possui dois componentes: o *log a priori* ($\log P(S^h)$) e o *log de verossimilhança marginal* ($\log P(D|S^h)$).

Vários métodos podem ser encontrados na literatura para o cálculo de $\log P(S^h)$. O caso mais simples considera qualquer hipótese de S^h igualmente comum (não considerando, portanto, o valor de $\log P(S^h)$ para o cálculo de $\log P(D, S^h)$). Um outro método, proposto por (HECKERMAN et al., 1995), usa uma estrutura de rede dada a priori (conhecimento de fundo). A idéia básica deste método é penalizar a probabilidade ($P(S^h)$) de cada estrutura de acordo com alguma medida de desvio entre uma determinada estrutura e a rede considerada a priori. A métrica MDL (Descrição de Comprimento Mínimo), proposta por Lam e Bacchus (1994), faz balanceamento entre o ajuste aos dados e a complexidade do modelo. A adição de uma variável *pai* causa aumento do *log de verossimilhança*, bem como da penalização. Haverá adição de um arco caso o incremento na verossimilhança seja relevante.

Segundo Dawid (1984), o cálculo do $\log P(D|S^h)$ poderia ser feito utilizando a equação 3.6:

$$\log P(D | S^h) = \sum_{e=1}^n \log P(x_e | x_1, \dots, x_{e-1}, S^h) \quad (3.6)$$

O termo $P(x_e | x_1, \dots, x_{e-1}, S^h)$ é a predição para x_e feita para o modelo S^h . O modelo com maior *log de verossimilhança marginal* ($\log P(D|S^h)$), considerando as probabilidades *a priori* das estruturas iguais, representa um “bom” modelo de estrutura para o conjunto de dados D .

Finalmente, com relação à terceira pergunta, várias pesquisas têm sido direcionadas para o uso de algoritmos de busca heurística, a fim de encontrar uma boa estrutura a partir do espaço de hipótese de todas as possíveis estruturas de RBs. Um exemplo desses algoritmos é o de *busca gulosa*, que inicia com a escolha de uma estrutura qualquer de RB. Então, avalia o *log de verossimilhança marginal* (através, por exemplo, da equação 3.6) para todas as possíveis mudanças m (e.g. adicionar ou retirar um arco da estrutura). Em seguida, realiza a mudança m cujo valor do *log de verossimilhança marginal* seja máximo. A busca é concluída quando não

existe m que proporcione um valor maior para o *log de verossimilhança marginal*. Este algoritmo é utilizado por vários métodos de aprendizado de RBs como, por exemplo, o K2 (COOPER; HERSKOVITS, 1992) e *Bayesian Knowledge Discovery* (RAMONI; SEBASTIANI, 1997).

Para ilustrar o aprendizado da estrutura de redes Bayesianas, considere o exemplo do K2. Este método aprende a estrutura de uma RB a partir de um conjunto de dados completo, cuja ordem das variáveis deve ser fornecida pelo usuário desse método. O K2 adota um método para calcular (selecionar) a estrutura com máxima verossimilhança e um algoritmo de aprendizado para encontrá-la (aproximadamente). Essa busca é iterativa e inicia com uma estrutura de rede bem simples, onde todas as variáveis são independentes uma das outras. Em seguida são avaliadas as verossimilhanças marginais de cada rede resultante de possíveis mudanças (e.g. adicionar uma nova ligação entre dois nós dessa rede), e então é aplicada a melhor das alterações antes de uma nova iteração. Esse processo continua até que o algoritmo não consiga encontrar nenhuma alteração simples que melhore (aumente) o valor de máxima verossimilhança.

Esse algoritmo, classificado como de busca e pontuação e um dos mais utilizados, permite encontrar a mais provável estrutura de rede de crença S a partir de um determinado conjunto de dados D . O algoritmo K2 aplica a pontuação Bayesiana segundo a equação 3.7.

$$P(S|D) = \prod_{i=1}^n \prod_{j=1}^{q_i} \frac{\Gamma(r_i)}{\Gamma(r_i + N_{ij})} \prod_{k=1}^{r_i} \Gamma(N_{ijk} + 1) \quad (3.7)$$

Na qual:

n é o número de nós;

q_i é o número de configurações dos pais da variável X_i ;

r_i é o número de possíveis valores do nó X_i ;

N_{ijk} é o número de casos em D onde o atributo X_i é instanciado com o seu valor k , e a configuração dos pais de X_i é instanciada com o valor j ;

N_{ij} denota o número de observações em que a configuração dos pais de X_i é

instanciada com o valor j , sendo $N_{ij} = \sum_{k=1}^{r_i} N_{ijk}$.

Após a construção da rede (a partir do conhecimento fundo do domínio, dos dados ou da combinação de ambos), são necessários mecanismos de inferência para computar as eventuais probabilidades de interesse.

3.3.2 – Algoritmos Genéticos

Um Algoritmo Genético é um método de otimização e busca inspirado em mecanismos de populações de seres vivos foi introduzido por John Holland, em 1975, e popularizado por um de seus alunos, David Goldberg, em 1989 (GOLDBERG, 1989). Esses algoritmos destacam-se por possuírem amplos espaços de busca e por serem do nível de complexidade de problemas NP-Completo.

Os AGs seguem o princípio da seleção natural e sobrevivência do mais apto e se baseiam no trabalho de Charles Darwin. Os AGs buscam a melhor solução para um dado problema, tentando várias soluções e utilizando-se das informações do próprio domínio para encontrar soluções cada vez melhores.

Os AGs têm sido empregados em problemas complexos de otimização fundamentalmente em virtude dos seguintes fatores:

- Funcionam tanto com parâmetros contínuos como discretos, ou ainda com uma combinação dos mesmos;
- Realizam buscas simultâneas em várias regiões do espaço de busca, pois trabalham com uma população e não com um único ponto;
- Utilizam informações de custo ou recompensa e não derivadas ou outro conhecimento auxiliar;
- Otimizam parâmetros de funções objetivos com superfícies complexas, reduzindo a incidência de mínimos locais;
- Trabalham com uma codificação do conjunto de parâmetros e não com os próprios parâmetros;
- Fornecem uma lista de parâmetros ótimos e não uma simples solução;
- São fáceis de serem implementados em soluções computacionais;

- São modulares e portáteis, no sentido que o mecanismo de evolução é separado da representação particular do problema considerado. Assim, eles podem ser transferidos de um problema para outro;
- São também facilmente combinados com outras técnicas heurísticas.

As técnicas de AG resolvem problemas de otimização e de busca, onde os métodos tradicionais falham. As técnicas tradicionais, frequentemente, iniciam o processamento com um único candidato (indivíduo) manipulado, utilizando alguma heurística, na maioria das vezes estática, diretamente ligadas ao problema a ser solucionado. No caso de AG, são realizadas operações em paralelo sobre uma população de candidatos (vários indivíduos) e a busca é feita, em diferentes áreas do espaço de solução, selecionando um número apropriado de membros para a busca, em várias regiões.

A idéia básica do funcionamento de um AG pode ser resumida nos seguintes passos:

1. Gerar a população inicial de cromossomos.
2. Avaliar cada cromossomo e lhe atribuir uma nota (aptidão).
3. Selecionar os melhores indivíduos (cromossomos mais aptos).
4. Aplicar operações de *crossover* (combinação) e mutação, gerando uma nova população (descendentes).
5. Repetir dos itens 2 a 4 até encontrar uma solução satisfatória.

Conforme apresentado, a base do funcionamento de um AG são os operadores genéticos, utilizados para gerar novas soluções (gerações da população) em analogia à evolução natural. Essas operações bem como a terminologia empregada nesse método de otimização, serão descritas nas subseções a seguir.

3.3.2.1 - Terminologia

Um Algoritmo Genético representa uma metáfora da teoria da evolução, permitindo o uso de termos próprios da biologia. Desta forma, para uma melhor compreensão das relações destes termos com a teoria dos AGs, os mesmos são descritos a seguir:

- Cromossomo e Genoma: genoma é o conjunto completo de genes de um organismo. Um genoma pode ter vários cromossomos. Ambos representam a estrutura de dados para codificar uma solução do problema proposto. Um cromossomo ou genoma representa um ponto no espaço de busca;

- Gene: unidade de hereditariedade transmitida pelo cromossomo, o qual controla as características do organismo. Nos AGs, é um parâmetro codificado no cromossomo, um elemento do vetor cromossomo;
- Indivíduo: um simples membro da população. É formado pelo cromossomo e sua aptidão;
- Genótipo: é a composição contida no genoma. Na Computação Evolucionária, representa a informação contida no cromossomo ou genoma;
- Fenótipo: representa o objeto, estrutura ou organismo construído pelas informações contidas no genótipo (cromossomo decodificado);
- Alelo: é uma das formas alternativas de um gene. Em AG, representa os valores do parâmetro codificado em um gene.

3.3.2.2 – Representação

A representação de um cromossomo pode conter várias formas, sendo a mais usual a representação binária, na qual as informações são codificadas em grandes cadeias de bits, como forma de utilizar os operadores de *crossover* e mutação tradicionais. Entretanto, é possível empregar outras formas de representação, dependendo do tipo de aplicação desenvolvida.

Vários pesquisadores têm discutido qual a melhor representação e muitos deles têm mostrado experimentos favoráveis à representação real (MICHALEWICZ, 1994), principalmente por ser mais facilmente compreendida pelo ser humano. Todavia, a representação binária é mais simples de ser implementada, além de ser amplamente utilizada para a representação dos cromossomos (possíveis soluções de um problema). A escolha do tipo de representação é pautada, via de regra, pelo tipo de problema que está sendo modelado.

3.3.2.3 - População Inicial

Os parâmetros de entrada de um AG incluem uma população inicial de cromossomos. Estes representam as estruturas de dados usados para representar uma possível solução do problema proposto. Cada cromossomo se encontra no espaço de busca de soluções, o qual representa o conjunto de todas as configurações que um cromossomo pode assumir. A cada cromossomo é atribuída uma aptidão, ou seja, uma nota ou valor para medir a qualidade da solução codificada.

Quando não existe um conhecimento a priori do espaço de busca, usa-se uma população inicial aleatória, porém, uma população inicial pequena pode não representar todas as regiões do espaço de busca. As possíveis soluções para este problema incluem (GOLDBERG, 1989):

- Gerar uma população inicial uniforme (com pontos espaçados igualmente entre si), distribuída por todo o espaço de busca;
- Gerar metade da população aleatoriamente e a outra metade invertendo os bits da primeira;
- Gerar uma população inicial maior que as subseqüentes, melhorando a representação do espaço de busca;
- Utilizar a técnica denominada *seeding*, que consiste em colocar na população inicial, soluções encontradas por outros métodos de otimização, garantindo soluções melhores para o AG que as geradas por esses outros métodos.

3.3.2.4 - Avaliação e Seleção

Após a criação da população inicial, o AG seleciona os cromossomos com melhor aptidão. Os cromossomos mais aptos são os escolhidos para gerar os cromossomos filhos e são denominados de população intermediária. Indivíduos mais aptos têm mais oportunidades de serem reproduzidos (produzindo descendentes cada vez mais aptos).

A determinação da aptidão varia de acordo com o problema em questão. Por exemplo, caso se deseje determinar o máximo global de uma função complexa com vários pontos de máximo e mínimo, pode-se utilizar o valor da função objetivo, interpolando estes valores para um intervalo determinado.

Os cromossomos podem ser escolhidos com probabilidade proporcional a sua aptidão, implicando na possibilidade de existência de indivíduos (cromossomos) duplicados na população intermediária. Esse procedimento, conhecido como “Método da Roleta”, (ou "Roda da Roleta"), funciona do seguinte modo: com os cromossomos ordenados por aptidão, calculam-se as aptidões acumuladas, gerando um número aleatório r entre 0 (zero) e a soma total das aptidões. O cromossomo escolhido será o primeiro que possuir aptidão acumulada maior que r , como pode ser visto no exemplo ilustrado na Tabela 3.1. Repete-se o processo até ser atingido o número de cromossomos desejados na população intermediária.

Tabela 3.1 – Ordenação da aptidão interpolada para o intervalo [0,00; 2,00].

Posição	Aptidão	Aptidão Acumulada
1	2,00	2,00
2	1,50	3,50
4	1,00	4,50
5	0,50	5,00
6	0,00	5,00

A utilização deste método de seleção não trabalha com números negativos, sendo necessário o escalonamento dos valores das aptidões em um intervalo positivo, para tal utiliza-se a equação 3.8.

$$f_i = \text{Min} + (\text{Max} - \text{Min}) * \frac{(N - i)}{(n - 1)} \quad (3.8)$$

Ao serem plotados em um gráfico, os dados da equação 3.8 se apresentam como mostrados na Figura 3.6. Por este método, a probabilidade de escolha de cada cromossomo pode ser calculada pelo intervalo da aptidão acumulada. Enquanto o cromossomo 1 será escolhido para qualquer número r entre $[0; 2[$, o cromossomo 2 só será selecionado para valores de r entre $[2; 3,50[$, ou seja, dividindo-se o intervalo de 2 do cromossomo 1 pelo total de 5 obtemos 0,4, enquanto o cromossomo 2, obtém probabilidade de $1,5/5 = 0,3$, e assim sucessivamente até o último cromossomo.

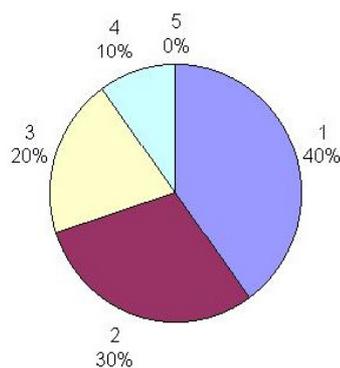


Figura 3.6 - Distribuição das probabilidades da aptidão dos indivíduos.

Na Figura 3.6, pode-se observar o fator de probabilidade agindo sobre a escolha dos indivíduos da população, enquanto o cromossomo 1 tem 40% de chance de ser escolhido, por possuir um intervalo maior, o cromossomo de posição 5 nunca será escolhido, pois se $4,50 < r \leq 5,00$ será escolhido o cromossomo 4 e não o cromossomo 5.

Deve-se notar que o procedimento tende a causar convergência prematura do AG, pois a população intermediária pode ficar saturada de elementos com alta aptidão, mas não com a melhor aptidão, resultando em soluções não tão boas quanto o esperado.

O problema de convergência prematura pode ser combatido utilizando, principalmente, as seguintes estratégias:

- Aumentar da taxa de mutação. A diversidade é proporcional à taxa de mutação, porém, a mutação é conhecida por destruir informação genética dos cromossomos, por isso é necessário cautela quando do ajuste da taxa de mutação;
- Evitar cromossomos duplicados na população;
- Controlar o número de filhos do super-indivíduo (indivíduo com alta aptidão, mas não com aptidão ótima) usando, por exemplo, técnicas como seleção por torneio.

A Seleção por Torneio evita o problema de convergência prematura. No torneio, escolhe-se aleatoriamente e com probabilidades iguais, n cromossomos e o de maior aptidão entre eles é selecionado para a população intermediária. O processo é repetido até se preencher a população intermediária. Na seleção por torneio, não existe a necessidade de escalonamento da aptidão ou seu ordenamento, o que acarreta uma economia de recursos e tempo de processamento.

3.3.2.5 - Operador de Crossover

O operador genético *crossover* é responsável pela geração de novas populações. Esse operador é aplicado a um par de cromossomos da população intermediária para gerar descendentes, o que permite a exploração do espaço de busca das soluções do problema tratado.

A idéia do *crossover* é mesclar em um novo cromossomo as melhores qualidades de dois indivíduos. Levando em consideração que as melhores características dos indivíduos não são conhecidas, o melhor a fazer é combinar as características aleatoriamente. O AG trata estas características como blocos de construção e tenta combiná-los em melhores indivíduos via *crossover*. Algumas vezes, o *crossover* combina as piores qualidades dos indivíduos e, neste caso, seus descendentes não sobreviverão muito tempo na população. O melhor caso, no entanto,

consiste em combinar as melhores qualidades dos pais, gerando um filho com aptidão ainda melhor que a de seus progenitores, desde que essas características sejam compatíveis entre si.

O operador de *crossover* divide as cadeias de bits dos cromossomos pais em uma posição aleatória, produzindo um par de “cabeças” e outro de “caudas”, a permuta de “caudas” dessas cadeias de bits entre os cromossomos pais dá origem aos cromossomos filhos, como pode ser visto na Figura 3.7.

pai1	101100011101011	111000110110110
pai2	001001101100101	001110010110011
filho1	101100011101011	001110010110011
filho2	001001101100101	111000110110110

Figura 3.7 - Exemplo da aplicação do operador de *crossover*.

O operador de *crossover* não ocorre em todos os pares selecionados. A probabilidade de aplicação do operador de *crossover* pode variar de acordo com uma taxa, conhecida como taxa de *crossover*, geralmente entre 60% e 99%. A não ocorrência de *crossover* implica na cópia dos cromossomos pais para a próxima geração, preservando algumas soluções da geração anterior. Uma implementação possível para a taxa de *crossover* poderia usar números pseudo-aleatórios no intervalo $[0, 1]$, aplicando o *crossover* caso o número gerado seja menor que a taxa de *crossover*.

Os tipos do operador de *crossover* são determinados pelo número de pontos de corte utilizados, sendo os mais conhecidos: *crossover* de um-ponto, *crossover* multiponto e *crossover* uniforme. O *crossover* de um ponto divide as cadeias de bits dos cromossomos pais em um ponto escolhido aleatoriamente. O *crossover* de n pontos escolhe n pontos aleatórios nas cadeias de bits dos pais, onde n é um número par, e as duas seções entre estes dois pontos são permutadas. O *crossover* multiponto mais utilizado tem sido o de dois pontos, pois estes tendem a preservar esquemas de maior comprimento. Um exemplo do *crossover* de n pontos pode ser visto na Figura 3.8.

pai1	1011000111	0101111100	0110110110
pai2	0010011011	0010100111	0010110011
filho1	1011000111	0010100111	0110110110
filho2	0010011011	0101111100	0010110011

Figura 3.8 - Exemplo de aplicação do crossover de dois pontos.

O *crossover* uniforme utiliza uma máscara de bits aleatórios gerada para cada par de cromossomos escolhidos para gerar novos filhos. Este processo pode ser implementado da seguinte forma: se o bit da máscara possui valor 1, o bit correspondente do pai1 é copiado para o filho1, caso contrário, o bit do pai2 é copiado para o bit do filho1. Este processo se repete por toda a cadeia de bits da máscara. Para a geração do filho2, este processo é invertido. Na Figura 3.9, é ilustrado o uso do *crossover* uniforme.

Máscara de bits	0110110110	1011000111	0010110011
pai1	1011000111	0101111100	0110110110
filho1	0010001111	0001100100	0010110011
pai2	0010011011	0010100111	0010110011

Figura 3.9 - Exemplo de aplicação do Crossover Uniforme.

Enquanto o *crossover* de n pontos gera um filho com metade dos bits de cada pai, o *crossover* uniforme gerará um filho, no qual seus genes terão um número aleatório de bits do pai1 e do pai2, devido à utilização da máscara aleatória de bits.

Vários estudos têm investigado a diferença de desempenho para os diversos tipos de *crossover* (ESHELMAN et al., 1989); (BEASLEY et al., 1993) e (GREFENSTETTE, 1986). O que se pode deduzir é que não há grandes diferenças, pois a robustez do AG não apresenta

alteração significativa em seu desempenho em uma faixa relativamente larga de variação de parâmetros (taxa de crossover e mutação, tamanho da população, etc).

3.3.2.6 - Operador de Mutação

O operador de mutação é utilizado após o *crossover* e é considerado o melhor mecanismo para produzir variações nas características dos indivíduos da população. A mutação é aplicada, com certa probabilidade, a cada bit dos cromossomos filhos, invertendo o valor do bit sobre o qual é aplicado, criando novas tentativas de solução com pequenas mudanças aleatórias na representação anterior. Estas perturbações, nas cadeias dos cromossomos, darão origem a uma nova cadeia, evitando que a busca fique estagnada em sub-regiões do espaço de busca, possibilitando, também, que qualquer ponto do espaço seja atingido (REZENDE, 2003).

Este operador contribui para aumentar a diversidade de cromossomos na população, entretanto, destrói informação contida no cromossomo. Dessa forma, deve-se utilizar uma taxa de mutação pequena, mas suficiente para assegurar a diversidade, normalmente entre 0,1% e 5%. Na Figura 3.10, é apresentado um exemplo do uso deste operador.

Filho1	10110<u>0</u>01110101100<u>1</u>110010110011
Filho2	001001101100101111000110<u>1</u>10110
Filho1	10110<u>1</u>01110101100<u>0</u>110010110011
Filho2	001001101100101111000110<u>0</u>10110

Figura 3.10 - Exemplo da aplicação do operador de mutação.

Após a aplicação dos operadores de *crossover* e mutação, os cromossomos filhos são então avaliados e o processo se repete em ciclos. Estes ciclos são chamados de gerações. O número de repetições (ou gerações) pode ser pré-determinado; indicado pela ocorrência do caso ideal (critério de parada), se este for conhecido; ou na convergência do algoritmo, ocorrendo quando as aptidões dos indivíduos de uma população se tornam muito parecidas.

A substituição dos cromossomos da população atual pode ocorrer de forma geracional ou *steady-state*. A primeira substitui toda a população, criando N filhos para substituir N pais, enquanto que a última cria um conjunto com os melhores pais e filhos para a próxima geração; neste tipo de substituição são criados um ou dois filhos em cada geração para substituir os piores cromossomos da população. Alternativamente podem-se substituir os pais ou os indivíduos mais velhos, pois estes já transmitiram seus genes à população.

3.3.3 Otimização por Enxame de Partículas

A Otimização por Enxame de Partículas, também conhecida como PSO (do inglês, *Particle Swarm Optimization*) (KENNEDY;EBERHART, 1995), é uma técnica de Inteligência Computacional baseada no comportamento de bandos de pássaros na busca por alimento. Descoberto a partir da simulação de modelos sociais simplificados, a PSO é geralmente utilizada para otimização em problemas cujas funções são não lineares e as variáveis são contínuas. Sua principal inspiração é a teoria de enxames. A PSO tornou-se uma técnica bastante popular e, segundo (REYES-SIERRA; COELLO, 2006), essa popularidade deve-se principalmente a dois fatores-chave:

1. O algoritmo do PSO é simples, o que torna sua implementação também simples. Além disso, há uma variedade muito grande de códigos fonte do algoritmo PSO disponíveis em domínio público.
2. Para uma grande variedade de problemas, a PSO tem se mostrado muito eficiente, produzindo excelentes resultados a um custo computacional muito baixo.

Terminologia usada:

Enxame: população do algoritmo.

Partícula: membro ou indivíduo do enxame. Cada partícula representa uma solução potencial do problema que está sendo resolvido. A posição de uma partícula é determinada pela solução que ela representa atualmente.

Pbest: melhor posição pessoal de uma dada partícula (análogo ao fitness na computação evolucionária).

Lbest: melhor posição da partícula membro de uma vizinhança de uma dada partícula.

Gbest: melhor posição de uma partícula de todo o enxame.

Líder: partícula que é usada para guiar outra partícula em direção a melhores regiões do espaço de busca.

Velocidade: esse vetor dirige o processo de otimização, ele determina a direção na qual uma partícula precisa “voar” mover, para melhorar sua posição atual.

Peso Inercial: denotado por W , o peso inercial é empregado para controlar o impacto do histórico de velocidades anteriores na velocidade atual de uma dada partícula.

Fator de Aprendizado: representa a tração que uma partícula tem em direção ao seu próprio sucesso ou de sua vizinhança. Dois são os fatores usados: $C1$ e $C2$. $C1$ é o fator de aprendizado cognitivo e representa a atração que a partícula tem em direção ao seu próprio sucesso. $C2$ é o aprendizado social e representa a atração que uma partícula tem em direção ao sucesso de sua vizinhança. $C1$ e $C2$ são definidos como constantes.

Topologia da Vizinhança: determina o conjunto de partículas que contribuem para o cálculo do valor lbest de uma dada partícula.

No enxame definido pelo algoritmo do PSO, as partículas que o compõem se comunicam-se entre si para trocar o conhecimento que cada uma adquiriu e, dessa forma, tornam-se capazes de tomar decisões baseadas não apenas no seu conhecimento, mas também no conhecimento do grupo (com as partículas representando os pássaros e o enxame, por sua vez, o bando).

Em sua forma mais geral, esta abordagem pode ser vista como um algoritmo comportamental distribuído de busca multidimensional onde cada partícula do enxame é candidata a solução do problema e possui uma velocidade atual, uma posição atual e o conhecimento da sua melhor posição pessoal. Dessa forma, cada partícula i do enxame, em um instante t , pode ser representada através dos seguintes vetores:

- Sua posição atual em um espaço de busca D -dimensional:

$$x_i^{\rightarrow}(t) = (x_{i1}(t), x_{i2}(t), \dots, x_{iD}(t));$$

- A melhor posição que ela encontrou até então:

$$p_i^{\rightarrow}(t) = (p_{i1}(t), p_{i2}(t), \dots, p_{iD}(t));$$

também conhecida como pBest;

- A sua velocidade atual:

$$v_i^{\rightarrow}(t) = (v_{i1}(t), v_{i2}(t), \dots, v_{iD}(t));$$

As partículas também guardam um vetor, $p_i^{\rightarrow}(t) = (p_{i1}(t), p_{i2}(t), \dots, p_{iD}(t))$; , conhecido como gBest, que representa o seu conhecimento social, ou seja, esse vetor armazena a melhor posição da melhor partícula de todo o enxame.

Inicialmente, a posição e a velocidade de cada partícula são definidas aleatoriamente e, durante a execução do algoritmo, as partículas movem-se no espaço de busca para encontrar a melhor solução possível. A cada iteração, os vetores de posição e de velocidade de cada partícula são atualizados através das seguintes equações:

$$v_i^{\rightarrow}(t+1) = v_i^{\rightarrow}(t) + c_1 \mathcal{E}_1 [p_i^{\rightarrow}(t) - x_i^{\rightarrow}(t)] + c_2 \mathcal{E}_2 [p_{ig}^{\rightarrow}(t) - x_i^{\rightarrow}(t)] \quad (3.9)$$

e

$$x_i^{\rightarrow}(t+1) = x_i^{\rightarrow}(t) + v_i^{\rightarrow}(t+1);$$

onde $i = 1, \dots, N$, c_1 e c_2 são os parâmetros cognitivo e social, respectivamente, com o cognitivo representando a influência do conhecimento individual e, o social, a influência do conhecimento coletivo; \mathcal{E}_1 e \mathcal{E}_2 são dois números aleatórios gerados por uma distribuição de probabilidade uniforme dentro do intervalo $[0; 1]$.

As forças, que influenciam o movimento de cada partícula no espaço de busca e resultam na atualização de sua posição, podem ser representadas matematicamente por vetores, definidos da seguinte forma:

- Vetor inércia: representa o movimento atual da partícula, ou seja, a velocidade corrente que impulsiona a partícula para a região onde ela aposta que está a solução. Na Equação 3.9, esse vetor corresponde a $v_i^{\rightarrow}(t)$;
- Vetor memória: corresponde à componente cognitiva da partícula, ou seja, é a relação entre a posição atual e a melhor posição encontrada por aquela partícula. Na Equação (3.9), esse vetor é representado pelo termo $c_1 \mathcal{E}_1 (p_i^{\rightarrow}(t) - x_i^{\rightarrow}(t))$;
- Vetor cooperação: representa a influência do enxame em uma determinada partícula. É a relação entre a melhor posição encontrada pelo enxame e a melhor posição encontrada pela partícula. Na Equação (3.9), o vetor é representada pelo termo $c_2 \mathcal{E}_2 (p_{ig}^{\rightarrow}(t) - x_i^{\rightarrow}(t))$;

Além das partículas terem sua velocidade e posição atualizadas a cada iteração, os valores do seu pBest e gBest também são verificados. Se a nova posição da partícula for melhor que seu atual pBest, ele será atualizado. O mesmo acontece com o gBest: se for encontrada uma nova

melhor posição para a melhor partícula do enxame ou uma nova melhor partícula, o $gBest$ é atualizado.

O algoritmo do PSO tem sua execução interrompida quando uma condição de parada determinada é atingida. Essa condição pode ser o número de iterações ou um limiar de aceitação que indica se o enxame chegou a um ponto cujo desempenho não melhore significativamente, ou seja, o enxame convergiu para um ponto sub-ótimo do problema. Esse desempenho é calculado pra cada partícula, a cada iteração, e é chamado de *fitness*. O Algoritmo 3 ilustra o funcionamento do PSO.

Algoritmo 3: Pseudocódigo do PSO.

```

Begin
  Initialize swarm
  Locate leader
   $g = 0$ 
  While  $g < gmax$ 
    For each particle
      Update Position (Flight)
      Evaluation
      Update  $pbest$ 
    EndFor
    Update leader
     $G++$ 
  EndWhile
End

```

3.4 – Considerações Finais

Neste capítulo, foram descritos os fundamentos básicos do processo de KDD que dão suporte aos processos de decisão, com destaque para os requisitos e as ações comumente realizadas nas etapas que compõem esse processo.

Para realização da extração de padrões em MD, é muito comum o uso de técnicas para raciocínio incerto com o objetivo de criar modelos do conhecimento embutido nos dados, em domínios reais com alguma inexatidão em suas premissas e, assim, dar suporte ao processo de decisão relacionado às ações futuras sobre esse domínio. Apesar das técnicas de manipulação de incerteza não estarem exclusivamente associadas à resolução de problemas de mineração de dados, são mecanismos eficientes e amplamente utilizados para análise de dados.

Desta forma, duas de suas principais técnicas foram apresentadas, focando nos principais conceitos e definições referentes ao modelo de inteligência computacional conhecido como redes Bayesianas e os algoritmos genéticos. Uma terceira foi também apresentada com o intuito de comparar técnicas de otimização no estudo de caso – experimental a ser descrito no capítulo 5. Foram expostas suas principais características e definições, que servirão como base para as análises apresentadas nas seções seguintes.

CAPÍTULO 4

TRABALHOS CORRELATOS

4.1 Considerações Iniciais

Neste capítulo serão apresentados alguns trabalhos levantados na literatura especializada, os quais serviram de base ao estudo da proposta desta tese. As referências são apresentadas de modo a situar o estado-da-arte das áreas envolvidas na pesquisa. São apontadas também algumas lacunas existentes na literatura, sendo que tais estudos e os aspectos são desenvolvidos neste trabalho, descrevendo onde se encontra a contribuição desta tese para a área.

Os trabalhos relacionados a esta tese podem ser classificados em três grupos: os trabalhos relacionados ao meio físico e enlace da rede local sem fio, a *cross-layer* e aos sistemas de suporte à decisão para planejamento. Acerca de suporte à decisão, há subdivisões relacionadas às técnicas utilizadas, tais como: simulação, modelos analíticos, aferição e modelos de inteligência computacional. Para cada um desses grupos existe vasta literatura. A seguir é descrito um conjunto desses trabalhos, considerados relevantes para esta tese.

4.2 WLAN (meio físico e enlace)

Muitos sistemas de software têm sido desenvolvidos para o auxílio ao projeto de redes sem fio, observando-se características do meio físico e de enlace. Via de regra, os sistemas apontam para dois elementos chave: o primeiro elemento a fazer parte é o algoritmo do modelo de propagação; o segundo é o processo de planejamento que tem como resultado posições e configurações dos pontos de acesso.

Nesta seção são abordados, alguns exemplos referentes ao planejamento de frequência relacionado a configurações dos pontos de acesso, sendo que, em diversos trabalhos, a interferência existente entre os hospedeiros não é lavada em consideração.

Em (ROCHE et al., 2006), usa-se um critério baseado na maximização do SNR e minimização da interferência dedicado ao problema de planejamento de frequência e a técnica

tabu para otimização. Esse critério foi baseado em um modelo de interferência, em função das posições dos usuários móveis.

Vale ressaltar que neste trabalho não são levados em conta os parâmetros de qualidade de serviço, mas somente a relação SNR, não se observando o sistema a partir de uma abordagem *cross-layer*.

Em (TOLEDO et al., 2006), foi desenvolvida uma versão melhorada do protocolo 802.11 DCF, com o objetivo de aperfeiçoar o desempenho da rede 802.11 no nível de rede e seu respectivo impacto nas aplicações. Tal pesquisa implementa um método de adaptação estimativo, com base no número de terminais competindo na rede. O algoritmo usa uma abordagem Bayesiana para estimar, otimizando os parâmetros de *backoff* do DCF, cuja base está na distribuição preditiva do número de terminais em competição na rede. Conforme os resultados apresentados, em comparação com a implementação DCF padrão, o protocolo alterado tem um significativo impacto positivo no desempenho.

Uma desvantagem desse método é o fato de que quanto mais precisa e rápida for a estimativa do número de terminais em disputa pela rede, melhor será o desempenho global. Em contrapartida, não é levado em consideração o efeito da interferência, assim como não se quantifica o impacto nos parâmetros de QoS.

Em (WERTZ et al., 2004), é apresentada uma abordagem baseada em predições de nível de sinal recebido. A otimização é então aplicada a um conjunto de localizações possíveis nas quais os pontos de acesso podem ser instalados. A otimização não leva em conta somente área de cobertura e capacidade, mas também a interferência. Não obstante, esta abordagem somente pode ser aplicada em sistemas em que não há sobreposição de portadoras.

Em (YIN et al., 2005), uma modelagem analítica do protocolo DCF é analisada, considerando-se uma carga de tráfego saturada e não saturada. Otimizações no desempenho do DCF são então propostas, objetivando-se aumentar o *throughput*, cujos parâmetros são valores ótimos do tamanho do pacote e da janela de contenção. Os resultados obtidos com a simulação mostram melhoria no desempenho da rede, mas não leva em conta os efeitos da interferência e nem o impacto em outros parâmetros de QoS além do *throughput*.

4.3 Cross-layer

Em redes sem fio, o fenômeno de influência das camadas física e de enlace nas camadas mais altas e seus respectivos parâmetros, via de regra, se torna mais evidente. Esta seção aborda alguns trabalhos que envolvem *cross-layer* com serão descritos a seguir.

Em (MARTINEZ; ALTUNA, 2004), é proposta uma arquitetura baseada na integração entre o conceito de *cross-layer* e fila de prioridades, sendo que cada nó permanece atento aos outros componentes da rede. A informação compartilhada entre os nós inclui, as métricas da camada MAC e as métricas da camada de rede. Com tal metodologia, o escalonamento é melhorado e diferentes parâmetros QoS são garantidos, a partir da informação obtida pela estrutura *cross-layer*. A simulação realizada apresenta um novo escalonamento para prover diferentes serviços para tráfegos com prioridades diferentes. No entanto, o estudo não leva em conta os efeitos da interferência e nem o impacto em outros parâmetros de QoS, além de *throughput* e atraso.

Em (KLIAZOVICH; GRANELLI, 2004), uma abordagem para melhoria de desempenho do protocolo de transporte TCP em um ambiente sem fio é proposto a partir de uma colaboração *cross-layer*. Tal abordagem é obtida pela introdução de um agente ARQ *Snoop* dentro da pilha de protocolos de um hospedeiro sem fio. Esse procedimento cria a possibilidade para exploração de mensagens ARQ da camada de enlace dentro do esquema de reconhecimento do TCP, cujo objetivo é melhorar o nível de *throughput* atingível. Não leva em consideração o efeito da interferência. A simulação é feita somente com o parâmetro de QoS *throughput*.

4.4 Suporte à decisão para planejamento

4.4.1 Simulação, modelos analíticos e aferição

Em (GARROPPO et al., 2004), uma avaliação de desempenho do máximo *throughput* atingido pela rede 802.11 foi realizada por modelo analítico Markoviano, aferição (aplicação baseada em UDP) e simulação utilizando OPNET. Tal avaliação não levou em consideração o efeito da interferência e nem de outros parâmetros de QoS além de *throughput*.

Em (LU et al., 2006), foi desenvolvida uma ferramenta de planejamento para avaliar a cobertura e as restrições de QoS em redes IEEE 802.11 b. O critério de QoS utilizado foi o *throughput*, e uma cadeia de Markov foi usada para avaliar o *throughput* disponível, considerando-se a qualidade do enlace e as colisões ocorridas. No processo de planejamento, um

número ótimo de PAs é estimado, assim como sua localização, a partir do uso da técnica meta-heurística *tabu*. A função de custo foi definida como a somatória dos componentes de cobertura, interferência e QoS, para os quais os pesos foram empiricamente selecionados. O objetivo de (LU et al., 2006) não é escolher o menor número de pontos de acesso e sim manter a interferência em níveis baixos enquanto garante o *throughput*.

Em (JAFFRÉS-RUNSER et al., 2007) propõe-se uma solução para o problema de planejamento a partir da otimização da cobertura, interferência e *throughput*, com duas abordagens (mono e multi-objetivo). O método de meta-heurística *tabu* é aplicado para avaliar uma única função definida como uma somatória de pesos dos critérios de planejamento. A abordagem multi-objetivo introduziu a meta-heurística multi-objetivo *tabu* como tentativa de solução do problema da escolha dos coeficientes de pesos. Conforme apresentado em (JAFFRÉS-RUNSER et al., 2007), a estratégia foi eficiente ao propor várias soluções de planejamento para o tomador de decisão, através do uso da técnica multi-objetivo. A abordagem de (JAFFRÉS-RUNSER et al., 2007) não leva em consideração outros parâmetros de qualidade de serviço, somente o *throughput*.

Em (KOUHBOR et al., 2005), foi usado um modelo analítico para encontrar o número e a localização ótima de PAs, usando como métrica a cobertura dos pontos de acesso e o método de gradiente discreto como ferramenta de otimização. Este trabalho não leva em consideração os efeitos da interferência e nem os parâmetros de QoS.

Em (PRASAD et al., 2000), são apresentadas algumas questões críticas ao realizar o planejamento de redes sem fio, sem apresentar um modelo analítico associado. No entanto, (PRASAD et al., 2000) revisa conceitos que tem impacto no desempenho de uma rede local sem fio. É abordado que existem dois requisitos básicos em um projeto de WLAN (a cobertura e o *throughput*). Neste contexto, a cobertura pode ser o requisito principal, tendo-se ao final do projeto grandes células, conseqüentemente com baixo *throughput*. De outra maneira, se o requisito básico for *throughput*, isso implicará em células menores, exigindo mais PAs e conseqüentemente o custo será mais elevado. Não realiza nenhum estudo de otimização.

Em (DÍAZ; DÍAZ, 2006), um procedimento para projeto de WLAN, considerando uma aplicação VoIP, é apresentado. Discute-se um modelo teórico com sugestão para implementação de cenário de medição e respectiva comparação de resultados.

Em (AMALDI et al., 2004a), outro modelo analítico, baseado em funções objetivo quadráticas e hiperbólicas, foi desenvolvido para planejar redes WLAN usando como métrica de otimização a cobertura. Em (AMALDI et al., 2004b), o trabalho de (AMALDI et al., 2004a) foi estendido usando outros métodos de otimização (heurísticas foram utilizadas combinando buscas locais e algoritmos gulosos) apenas diminuindo o tempo de processamento.

Em (LU; VALOIS, 2006), é proposto integrar as características do ambiente de rádio com um modelo analítico para avaliar o desempenho de uma rede *indoor* WLAN 802.11. Um modelo Markoviano foi proposto considerando o nível de sinal, topologia do ambiente e distribuição geométrica das estações. O modelo foi validado com aferição e não considerou o efeito da interferência.

Em (KAPPES et al., 2004), é apresentado um modelo não-paramétrico, cuja solução é baseada na amostragem do problema de localização ótima dos pontos de acesso em uma WLAN. Neste artigo, é apresentada uma forma de estimar a intensidade (potência) do sinal de cobertura de um PA, usando-se medidas reais e não necessitando do conhecimento explícito dos obstrutores/refletores do sinal. Em outras palavras, a técnica confia nas medidas e estimativa do comportamento do sinal em vez de supor as características físicas do ambiente. A técnica usa amostras do sinal recebido em alguns PAs, amostras essas que são usadas para construir o modelo que vai descrever o sinal recebido num dado PA hipotético. Não é levado em consideração a interferência e nem parâmetros de QoS.

Em (EISENBLATTER et al., 2010), uma abordagem em duas fases é proposta. Na primeira fase, várias posições candidatas são encontradas com a aplicação de otimização multi-objetivo levando em consideração taxa de dados (maximização) e interferência co-canal (minimização). Os vários candidatos gerados são simulados como segunda fase e o melhor pode então ser selecionado pelo tomador de decisão.

4.4.2 Inteligência Computacional

Outra técnica usada nos trabalhos pesquisados é a que envolve o uso de algoritmos inteligentes como os algoritmos genéticos (AG), estratégia evolucionária e programação genética. Baseados no conceito biológico de seleção natural, o AG foi usado no trabalho (KURIEN et al., 2004) focado na otimização de várias partes do processo de planejamento, tal como localização ótima.

A estratégia evolucionária, sendo uma eficiente técnica de busca estocástica ótima e que pode ser usada para resolver problemas complexos e não lineares, foi abordada no trabalho (GIBNEY; KLEPAL, 2005) onde foi utilizada para otimizar a localização dos PAs para atender as necessidades de uma ambiente particular. Os parâmetros de QoS não são considerados, os autores apenas afirmam que uma vez os PAs em posições ótimas o *throughput* por usuário também deve ser maximizado, assim como a interferência co-canal deve ser minimizada. O trabalho (GIBNEY et al., 2007) é uma extensão do trabalho anterior onde somente o nível de sinal era considerado no projeto. Neste é permitido especificar o número de usuários em um site específico e classificar os requerimentos de taxa de dados. Uma medição foi feita para validar os resultados.

4.5 Considerações Finais

Procurou-se abordar neste capítulo alguns trabalhos que discorrem sobre os métodos utilizados para avaliar o desempenho de redes sem fio, bem como alguns trabalhos que propõem estratégias de planejamento e otimização dessas redes.

De uma maneira geral, observou-se ao longo da realização desta pesquisa de doutorado, que não são abordadas, na literatura correlata, soluções que considerem os fatores que afetam as aplicações de usuários das redes sem fio, a partir de uma visão mais abrangente, conforme preconizado na abordagem *cross-layer*.

Via de regra, não são observados dois aspectos fundamentais para avaliações de redes eminentemente *cross-layer* (como é caso de redes IEEE 802.11): (a) uma dissociação entre aspectos e parâmetros observados em experimentos (aferição) e os respectivos modelos elaborados (analíticos, de simulação e de inteligência computacional); (b) a correlação e a causalidade entre parâmetros da camada física (potência, relação sinal/ruído, interferência, etc) e os requisitos de QoS da camada de aplicação (MOS, jitter, atraso, vazão, etc). Por exemplo, em (LU et al., 2006) é usado um modelo Markoviano para avaliar somente a vazão e as medições foram feitas em um estágio posterior para validar o modelo.

Entretanto, de fato, em redes IEEE 802.11, os aspectos supracitados estão intrinsecamente relacionados e uma avaliação mais fidedigna deve levar tais aspectos em consideração, observando-se sob o prisma da correlação, causalidade e influência entre eles. Em suma: para as

redes em questão, parâmetros como interferência não podem ser desprezados em uma avaliação de QoS de aplicações.

À luz desses indicativos, no próximo capítulo, é apresentado um método híbrido que combina técnicas que estabelecem relações de causa e efeito (RBs) e de otimização (algoritmos genéticos e enxame de partículas), combinadas com os parâmetros obtidos a partir de aferição realizada. Esse conjunto de passos, que culminam com a proposta de uma metodologia meticulosamente elaborada, visa a oferecer insumos suficientes para planejamento, avaliação de desempenho e tomada de decisão, no âmbito de redes sem fio IEEE 802.11.

A metodologia proposta objetiva encontrar os estados de determinadas variáveis que possam estabelecer uma condição ótima almejada para uma variável meta, influenciada por tais variáveis. Neste contexto, pode-se, em função de métricas restritivas, obter cenários em que há cobertura suficiente, garantindo-se assim atender aos requisitos de qualidade de serviço de aplicações com rígidos parâmetros de QoS.

CAPÍTULO 5

ESTRATÉGIA DE PLANEJAMENTO E OTIMIZAÇÃO DE SISTEMAS SEM FIO, CONSIDERANDO REDES INTERFERENTES: ABORDAGEM BASEADA EM *CROSS-LAYER*

5.1 Considerações Iniciais

O uso de redes locais sem fio e de aplicações multimídia têm crescido sobremaneira nos últimos anos. Novas aplicações de rede multimídia como vídeo em tempo real, telefonia IP ou VoIP, rádio por Internet, teleconferência, jogos interativos, mundos virtuais, aprendizado a distância, e muitas outras aplicações, são anunciadas frequentemente (KUROSE; ROSS, 2006). Na Figura 5.1, é mostrado um gráfico oriundo do relatório - *A situação da Banda Larga no Brasil 2010*, os dados usados no relatório foram coletados da pesquisa nacional por amostras de domicílios no ano de 2008 (BANDA LARGA, 2011). Na Figura, nota-se que a maior utilização da Internet pelos brasileiros, fica no uso de *comunicação com outras pessoas*, cujo percentual calculado foi de 83,2%, seguido por *atividade de lazer e educação e aprendizado*. Isso demonstra uma tendência de utilização predominante de multimídia, caracterizando um novo padrão de uso e de usuário na Internet.. A empresa de tecnologia *Skype*®, provedora de VoIP adquirida recentemente pela *Microsoft Corporation*®, atingiu a marca de 30 milhões de pessoas *online* simultaneamente em março de 2011 (SKYPE, 2011).

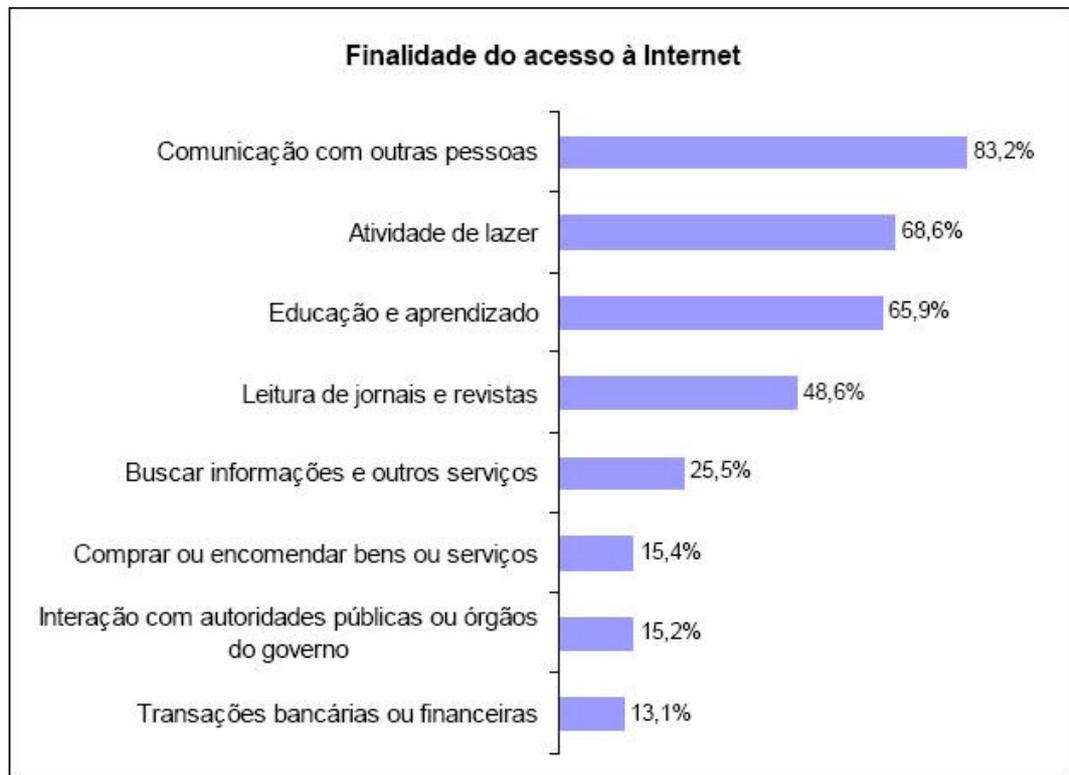


Figura 5.1 Finalidade do acesso à Internet no Brasil (PNAD, 2008)

No relatório divulgado pelo ITU (MEASURING, 2011), ilustra-se também o crescimento dos usuários de Internet, nos países desenvolvidos, em desenvolvimento e do terceiro mundo, no período de 1998 a 2009, bem como os usuários de acesso banda larga fixos, onde estão incluídos os usuários de redes locais sem fio.

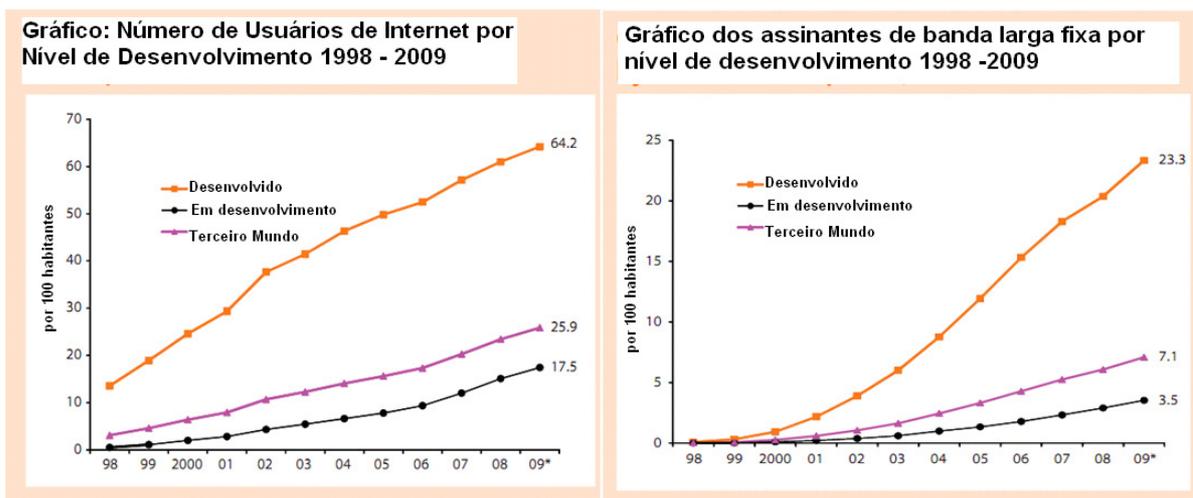


Figura 5.2 Crescimento do número de usuários Internet e assinantes de banda larga no período de 1998 a 2009 - gráfico adaptado de (MEASURING, 2011).

Os requisitos dessas aplicações multimídia são diferentes das aplicações ditas elásticas (e-mail, Web, login remoto). Em particular, as aplicações multimídia são muito sensíveis ao atraso fim-a-fim e à variação do atraso, mas podem tolerar perdas de dados ocasionais (KUROSE;ROSS, 2006).

Em função desse novo perfil de utilização de redes locais (incluindo-se nesse contexto as WLANs), há um impacto direto nos parâmetros de QoS oferecidos por tais redes.

Nesse panorama, alguns fatores afetam sobremaneira a qualidade de serviço percebida pelo usuário e a interferência, conforme abordado no capítulo 2, é um exemplo. Identificar problemas de desempenho em redes sem fio é um desafio a ser superado, de formar a ser possível oferecer aos usuários a *performance* esperada. Sob esse novo prisma, os próprios métodos de avaliação precisam ser aprimorados. Por exemplo, a satisfação de cobertura já não é mais o único parâmetro a ser levado em consideração, assim como, em relação aos parâmetros de QoS, o *throughput* já não é a única premissa.

Particularmente, quando se trata de aplicações VoIP, outros parâmetros de qualidade de serviço necessitam ser atendidos para que a qualidade percebida pelo usuário seja satisfeita.

Este trabalho visa à proposição e validação, a partir de técnicas de *cross-layer*, de estratégias para planejamento e avaliação de desempenhos de redes sem fio, as quais implementem níveis mínimos de QoS para aplicações VoIP. Tal abordagem é alcançada através de um uso combinado e harmônico de técnicas como: aferição de dados, modelagem, otimização, simulação, inteligência computacional, entre outras; criando, assim, um arcabouço de informações capaz de nortear uma implantação e/ou um aprimoramento de infra-estruturas de redes sem fio.

Em edificações reais, via de regra, existe uma tendência de encontrar-se cenários similares aos investigados neste trabalho, onde diferentes redes coexistem e onde é desejável que aplicações com rígidos parâmetros de QoS possam ser executadas (ex: VoIP). Para tornar isso possível, esta tese propõe uma metodologia, cujas etapas são descritas a partir da próxima seção.

5.2 Metodologia Proposta

Como citado anteriormente, a descoberta de conhecimento a partir de dados é entendida como um processo contendo, pelo menos, as seguintes grandes etapas: (1) compreensão do domínio da aplicação; (2) pré-processamento dos dados; (3) extração de padrões (4) avaliação do conhecimento extraído ou pós-processamento e (5) consolidação e utilização do conhecimento extraído. Um esquema representativo contendo todas essas etapas é ilustrado na Figura 5.3.

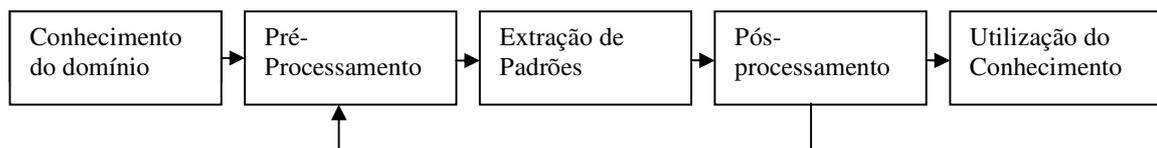


Figura 5.3 Etapas do processo de mineração de dados (REZENDE, 2003)

Nesta tese, propõe-se uma “customização” do processo de descoberta do conhecimento, adicionando-se características específicas dos sistemas alvo (redes locais sem fio). Em síntese, duas ações específicas são introduzidas à abordagem tradicional de KDD.

A primeira é a introdução de um passo anterior a todo o processo, a obtenção dos dados através da aferição, de forma a gerar uma base de dados real e concisa, que envolva os principais elementos da comunicação, bem como as principais situações que podem ocorrer no processo de transmissão da aplicação selecionada, neste caso a VoIP.

A segunda é a utilização, na fase de MD, de variáveis que mensuram o desempenho das aplicações nos mais diversos níveis da arquitetura TCP/IP, gerando assim uma abordagem efetivamente *cross-layer*. Isso ocorre devido ao TCP/IP ser um conjunto de protocolos para intercomunicação dos diferentes tipos de rede e por possuir uma notória dificuldade: o fornecimento de QoS fim-a-fim.

Para prover serviços com maior confiabilidade, algumas aplicações utilizam o protocolo de transporte TCP, que desde seu advento tem sido considerado o principal protocolo de comunicação; todavia, em redes com perda de pacotes, este protocolo se torna falho, pois o mesmo habilita o controle de congestionamento do protocolo desnecessariamente, uma vez que certas aplicações podem tolerar perdas na comunicação (KIM; CHUNG, 2007).

Observa-se então que a atual comunicação de dados que utiliza principalmente os protocolos TCP/IP para aplicações costumeiras, como o tráfego HTTP, é apropriada, pois mantêm a compatibilidade entre as redes existentes (roteadores, *gateways*, etc.). Entretanto para

as aplicações atuais, conhecidas como multimídia, o protocolo TCP/IP tem se mostrado deficiente. O fato do protocolo TCP/IP ser dividido em camadas facilita a implementação de novas aplicações, além de estar de acordo com os princípios preconizados pelas boas práticas da engenharia de software. Contudo, devido às aplicações atuais necessitarem de condições mínimas para que a transmissão seja realizada satisfatoriamente, o protocolo oferece algumas restrições, mostrando-se ineficiente.

O modelo *cross-layer* visa a implementar uma interação entre as camadas do protocolo, fornecendo cada vez mais qualidade de serviço ao usuário. Através desta técnica, por exemplo, torna-se possível adaptar parâmetros de desempenho em tempo real da camada de aplicação, tais como *throughput* e *jitter*, desde que a camada de transporte informe uma grande quantidade de pacotes perdidos; possibilitando, assim, uma adaptação da aplicação baseada nas características do meio no qual estão sendo transmitidos os dados.

É importante destacar que esta variação da abordagem do KDD foi montada seguindo recomendações de normas específicas para *testbeds* e padrões e recomendações mínimos, os quais servirão de patamares de qualidade para as aplicações.

A estratégia e a metodologia a serem utilizadas nos testes estão divididas nas seguintes etapas:

- Caracterização dos parâmetros do ambiente (camada física) da WLAN:

A presença de obstáculos, como paredes, aspectos do ambiente, entre outros, no caminho da transmissão do sinal de rádio atenua o nível de sinal. Dessa maneira, a qualidade da recepção é degradada e a probabilidade de erro aumenta. O nível de sinal pode variar significativamente, desde que em curtos períodos, devido a mobilidade e multipercurso e etc. Conseqüentemente, retransmissões são produzidas e o desempenho da WLAN é influenciado. Deve ser também considerada a relação sinal-ruído, freqüentemente referenciada por S/N ou SNR . Tipicamente, SNR no valor de 10 decibéis é um valor satisfatório, de 10 a 15 decibéis é o bastante, de 15 a 20 é um valor considerado bom e de 20 em diante é excelente. Esses números são recomendados para dados, para voz o valor recomendado é de 25 decibéis ou mais e não receber um sinal de outro ponto de acesso que está trabalhando no mesmo canal e que é maior que 10 decibéis (ROCHE et al., 2006).

- Pesquisa de redes interferentes:

- Definir a distribuição espacial da rede sem fio;
 - Marcar e obter as coordenadas dos pontos de acesso a serem avaliados;
 - Iniciar a aplicação da rede sem fio a ser estudada;
 - Usar um software de coleta de amostras de nível de sinal da rede sem fio;
 - Usar uma aplicação no analisador de protocolo para armazenar medidas de QoS;
 - Começar a(s) aplicação(s) de redes sem fio interferentes.
- Definição dos parâmetros de QoS da aplicação selecionada:

Existem muitas métricas disponíveis para medir a qualidade de uma conexão, tais como: taxa de perda de pacotes, atraso, *jitter* e *throughput*. A média do atraso é provavelmente o parâmetro mais crítico para VoIP. Se é muito grande, o fluxo da conversação é comprometido e a comunicação pode tornar-se ruidosa. O ITU-T recomenda um atraso de 150 ms (AMALDI et al., 2004) e não maior que 400 ms (ZHAI et al., 2006). Além disso, provêm conseqüências negativas gradualmente. Nas redes IEEE 802.11, o atraso entre o cliente e o ponto de acesso é usualmente menor do que 10 milissegundos e por esta razão não deveria ser um problema para VoIP. Em muitos sistemas modernos serão usados algum tipo de *playback* adaptativo para suavizar o *jitter*, mas isso aumenta o atraso, e pode introduzir falhas na voz. Em redes Wi-Fi, o *jitter* é geralmente pequeno, parcialmente por que o atraso e o tamanho dos pacotes são pequenos também. Entretanto, nesse trabalho, como a interferência é investigada, serão mostrados outros impactos na qualidade de voz. A taxa de perda de pacotes também afeta a qualidade da voz, uma vez que ao decodificar a voz, ela apresentará falhas associadas aos pacotes perdidos. Para VoIP, as taxas de perdas de pacotes até 1% e até 3% são geralmente aceitáveis (AMALDI et al., 2004). Em redes IEEE 802.11, as colisões e outras perdas estão “escondidas” pela estratégia de retransmissão automática. Desde que essas retransmissões são transparentes à camada de aplicação, a taxa de perda de pacotes final é tipicamente menor do que 1% e, por esta razão, aceitável para aplicações VoIP. Entretanto, um terminal móvel quando sai desta faixa, as taxas de perda aumentam abruptamente; rapidamente tornando a comunicação impossível. No que se refere ao *throughput*, a largura de banda requerida por uma conexão VoIP simples é significativamente menor do que a capacidade nominal das redes IEEE 802.11. CODECs típicos de voz requerem não mais do que 64 Kbps, para uma banda de 54 Mbps disponível no 802.11g. Entretanto, se o mesmo ponto de acesso é

usado para suportar múltiplas chamadas, pode-se ter um problema de capacidade (AMALDI et al., 2004).

É importante considerar se existem WLANs próximas a WLAN em estudo, onde os canais dos pontos de acesso dos vizinhos não interferem com os da rede em estudo. Tecnologias que poderiam produzir interferência são: *bluetooth*, microondas, alguns telefones celulares e outras WLANs, entre outros (ROCHE et al., 2006).

- Caracterização do tráfego da aplicação designada:
 - Executar muitas vezes a aplicação designada observando os padrões e curvas típicas por meio da aquisição de amostras e utilização de testes de ajuste.
 - Definição da distribuição de probabilidade para cada medida de desempenho estudada, tais como: atraso, probabilidades de bloqueio e *throughput*;
 - Definição das medidas que devem ser consideradas nos modelos computacionais (inteligência computacional, otimização e simulação).
- Acompanhamento das inferências baseadas na simulação, inteligência computacional ou modelos analíticos/otimização, para verificar aspectos como: correlação, possíveis cenários, escalabilidade, disponibilidade e desempenho.

Na Figura 5.4, a metodologia está representada através do agrupamento de características das estratégias descritas acima reunidas em 4 etapas:

1. Medições: definição de arquitetura e equipamentos envolvidos, definição das variáveis a serem analisadas, criação do *testbed* e realização dos testes empíricos;
2. Caracterização do tráfego da aplicação designada: análise dos resultados.
3. Estabelecimento de Correlações: análise dos resultados obtidos a partir de redes Bayesianas e inferências para realização de diagnósticos;
4. Otimização: tentativa de encontrar parâmetros ótimos para atender a restrições do parâmetros de QoS/QoE selecionados para a aplicação.

A etapa de medições envolve a aferição e coleta de dados, passando pelas fases de conhecimento do domínio e pré-processamento. As etapas de caracterização do tráfego da aplicação designada e estabelecimento de correlação estarão envolvidos nas fases de extração de padrões, pós-processamento e utilização do conhecimento. A última etapa, referente à otimização, abrange também a utilização do conhecimento.

Cada etapa será detalhada posteriormente, apresentando, os principais elementos envolvidos assim como suas respectivas características.

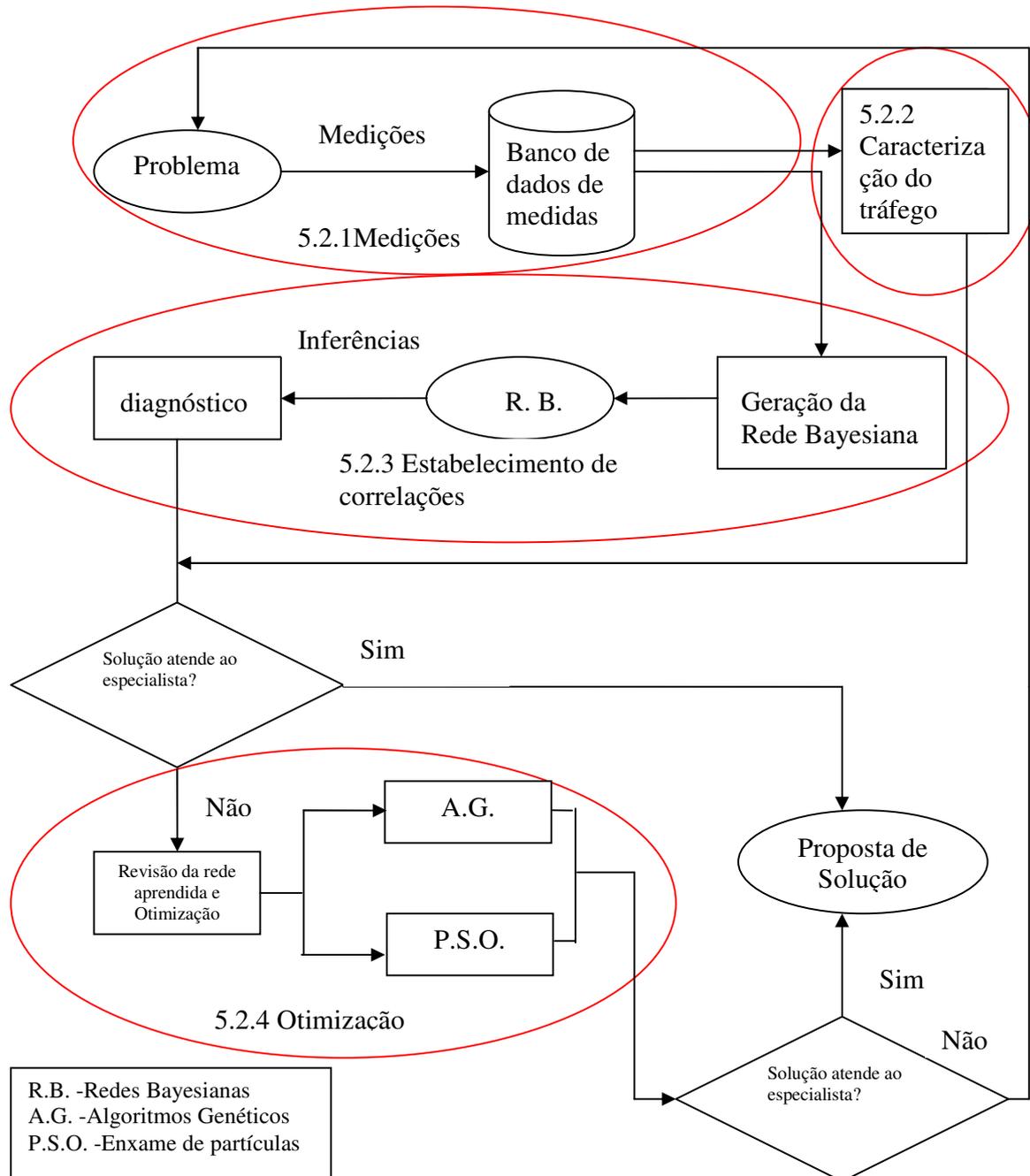


Figura 5.4 Fluxograma da metodologia

5.2.1 Medições

De forma a avaliar a comunicação VoIP em uma rede WLAN, foi criado um modelo que atendesse aos requerimentos da hipótese b levantada no capítulo 1, onde o *testbed* criado está representado na Figura 5.5, os quais definem a sequência de elementos interligados.

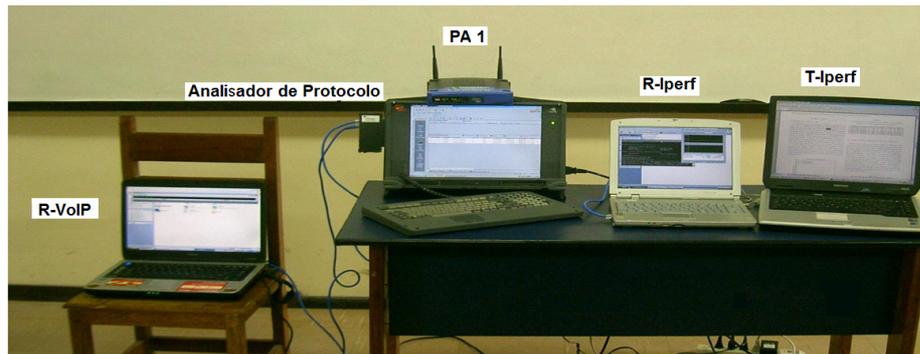


Figura 5.5 – *Testbed* criado para Rede em Estudo

A arquitetura utilizada envolveu os seguintes itens:

- Ponto de acesso sob estudo (PA 1);
- Notebooks transmissor e receptor da aplicação VoIP, chamados T-Voip (Figura 5.7) e R-Voip;
- Simulador de aplicação VoIP, neste experimento callgen323 e openphone (OPENH323, 2011);
- Medidor do nível de sinal (Figura 5.7);
- Simulador de tráfego concorrente ao VoIP na rede sob estudo (T-Iperf e R-Iperf);

Um analisador de protocolos da marca RADCOM® (RADCOM, 2011) também foi utilizado com a função de filtrar os pacotes que irão trafegar na rede, isolando fluxos específicos para geração de medidas de desempenho.

Os cenários de testes utilizados foram: o segundo andar de um edifício da Universidade Federal do Pará e um prédio anexo ao laboratório de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pará. O primeiro cenário trata-se de um pavilhão e é feito de tijolo e concreto, com janelas laterais de vidro. No outro lado, existe um corredor ao longo de todo o pavilhão. Nesse andar existem somente salas de aula que são divididas por paredes feitas de tijolo. Na Figura 5.6 mostra algumas fotos do ambiente.



Figura 5.6 – Fotos do pavilhão. No sentido horário: lado externo com janelas de vidro, sala de aula, corredor e lado externo com corredor ao longo.

O segundo cenário é um prédio que possui dois andares, com paredes de tijolo, janelas de vidro e esquadrias de alumínio por toda a sua extensão lateral a Figura 5.7. Também são usadas divisórias para separar algumas salas. Vale ressaltar que, durante as campanhas de medição, o local ainda se encontrava em fase de acabamento e, portanto, sem mobílias e circulação de pessoas.



Figura 5.7 - Fotos do prédio de Laboratórios: corredores do andar superior e inferior e sala destinada a laboratório de pesquisa.

No experimento, uma rede foi implementada para usar o canal 1 (frequência central de 2.412GHz). Nessa rede em estudo, um ponto de acesso (PA1), 802.11g Linksys®WRT54G Router Speed Booster, foi conectado ao analisador de protocolo RADCOM®, usando uma de suas portas LAN. A outra porta do analisador de protocolo foi conectada a um notebook R-VoIP o qual recebeu uma chamada VoIP enviada pelo T-VoIP (localizado em um carrinho) Figura 5.7. O notebook T-VoIP foi usado para fazer chamadas VoIP para o notebook R-VoIP pelo uso do programa Callgen323 (programa que executava chamadas de 1 minuto de duração). O Callgen323, ferramenta VoIP desenvolvida pelo projeto OpenH323 (OPENH323, 2011), largamente utilizada para testes (PAPAGIANNI et al., 2009) enquanto o Openphone foi usado para receber as chamadas. Além da aplicação VoIP, outra aplicação foi usada para dividir a largura de banda disponível na rede em estudo. Essa aplicação é o programa iperf (IPERF, 2011) executado no modo cliente, gerando uma taxa constante de bit com fluxo UDP de largura de banda específica (7 Mbps). Esse fluxo é artificial, imitando a comunicação de voz. Essa aplicação usava mais dois notebooks, conforme Figura 5.5; o notebook T-Iperf foi usado para transmitir a aplicação iperf e o notebook R-Iperf foi usado para recebê-la.

O notebook (T-VoIP) usado para gerar chamadas VoIP foi posicionado em um carrinho que foi movido para cada ponto onde a medição estava sendo feita, ficando 3 minutos em cada ponto determinado. O carrinho também carregava outro notebook para medir nível de sinal (chamado Receptor de Potência), usando o software Network Stumbler® (NETWORK STUMBLER, 2011). O mesmo notebook não foi utilizado para ambas as tarefas por que o network stumbler não permite que o computador no qual este software está executando seja conectado a uma rede. Na Figura 5.8 mostra a foto do carrinho com os dois notebooks.

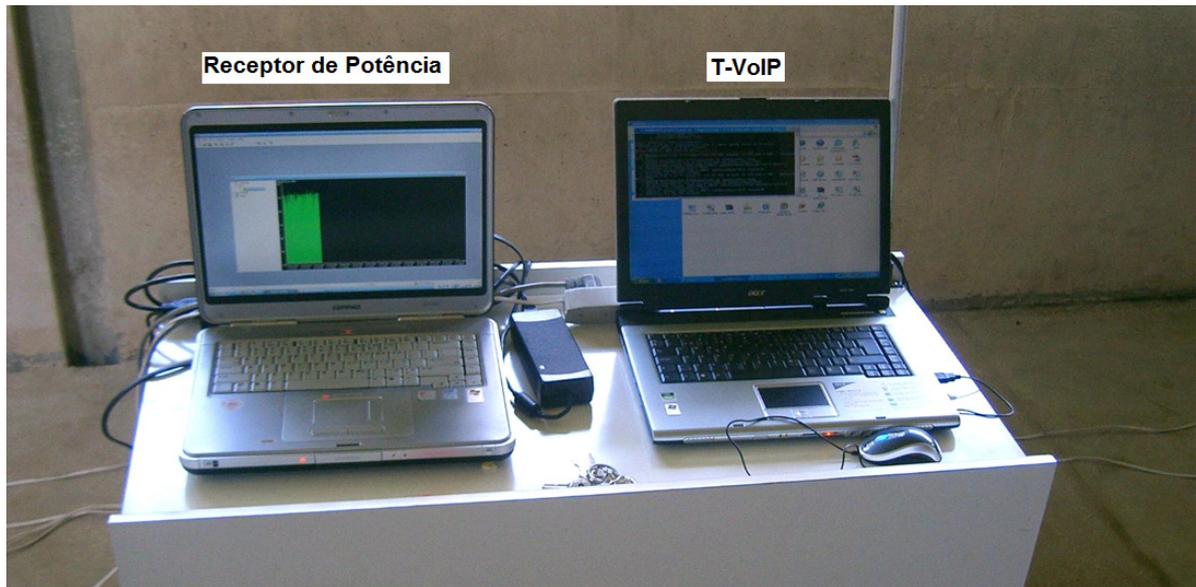


Figura 5.8 Carrinho com o transmissor VoIP e com o Receptor de Potência.

Outra rede, chamada rede interferente, foi instalada usando o mesmo canal usado pela rede em estudo.

A arquitetura utilizada pela rede interferente envolveu os seguintes itens:

- Ponto de acesso interferente (PA 2);
- Notebooks transmissor e receptor do tráfego na rede interferente, chamados T-Interf e R-Interf;
- Simulador de tráfego na rede sob estudo (programa Iperf);

A Figura 5.9 apresenta a imagem da rede interferente, onde o notebook chamado T-Interf transmitia tráfego para outro notebook chamado R-Interf. O programa iperf foi usado para gerar tráfego e ele permitiu especificar o tempo no qual o tráfego poderia ser gerado.

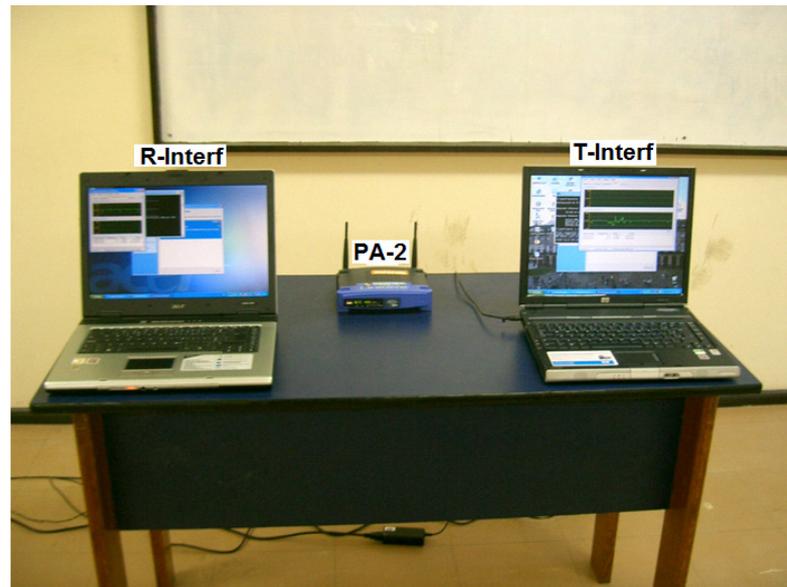


Figura 5.9 Rede Interferente

Na realização das medições, as localizações foram primeiramente selecionadas e então foram marcadas com uma fita adesiva. As distâncias as paredes foram também medidas. A Figura 5.10 mostra *layout* dos pontos marcados para o cenário 1- pavilhão de salas de aula. Primeiramente, a rede em estudo foi localizada na sala de aula 1.



Figura 5.10 *Layout* com a localização dos pontos medidos para o cenário 1 – pavilhão de salas de aula.

Em relação à definição de parâmetros de QoS da aplicação selecionada, conforme já descrito anteriormente, o tráfego a ser estudado nesta proposta é o VoIP; para esta aplicação selecionadas as medidas de desempenho obtidas para o estudo de caso foram: perda de pacotes, *jitter*, *delay*, *throughput* e PMOS pelo uso do software *Performer Media Pro* disponível no analisador de protocolos. Um certo número de medidas foi coletado no ambiente *indoor*. O

mesmo processo foi repetido adicionando outra rede chamada rede interferente, instalada na sala 6.

Totalizando 46 pontos medidos, estes foram expandidos com o uso de uma rede neural. Finalizada a etapa de medição, uma análise dos resultados e um conjunto de inferências foram feitas usando redes Bayesianas. Os dados de entrada da rede Bayesiana foram os dados experimentais, métricas de QoS como *throughput*, *delay*, *jitter*, *packet loss*, PMOS e métricas de camada física como nível de sinal e distância.

Para realização dos testes, foi criado este *testbed* que possibilitou a obtenção de dados estatísticos, os quais foram utilizados em análises e serviram como entrada de dados para etapas posteriores.

O mesmo procedimento foi aplicado ao cenário 2- prédio anexo de laboratórios e na Figura 5.11 mostra o layout dos pontos marcados. Para realizar as medições, foram fixados 25 pontos nesse cenário (somente o andar térreo será considerado neste estudo). No entanto a rede interferente foi instalada no segundo andar na mesma posição que a rede em estudo.

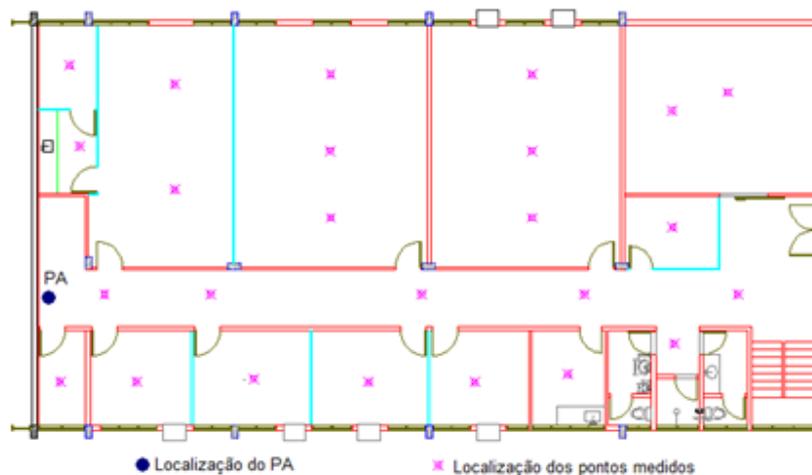


Figura 5.11 *Layout* com a localização dos pontos medidos para o cenário 2 – prédio anexo de laboratórios.

5.2.2 Caracterização do tráfego da aplicação

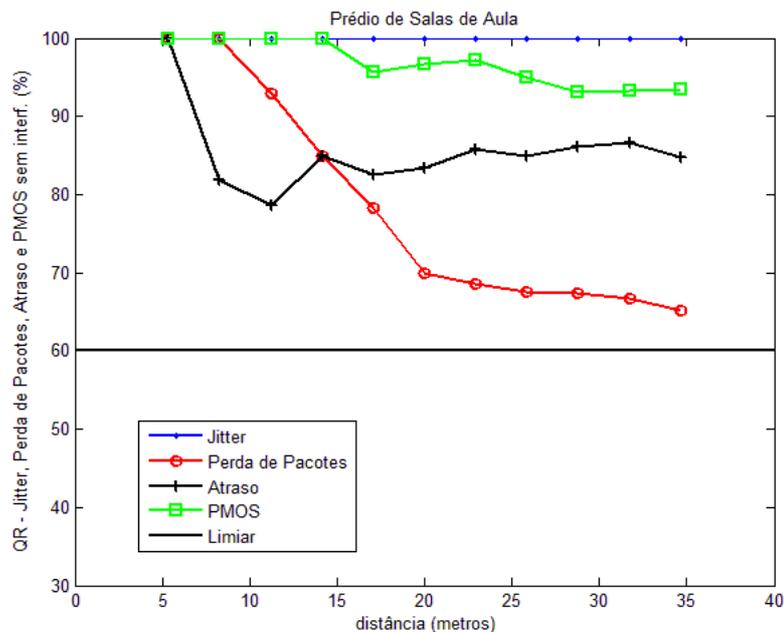
Alguns resultados podem ser retirados e observados diretamente da base de dados, como os apresentados a seguir. Tais resultados mostram o comportamento das aplicações.

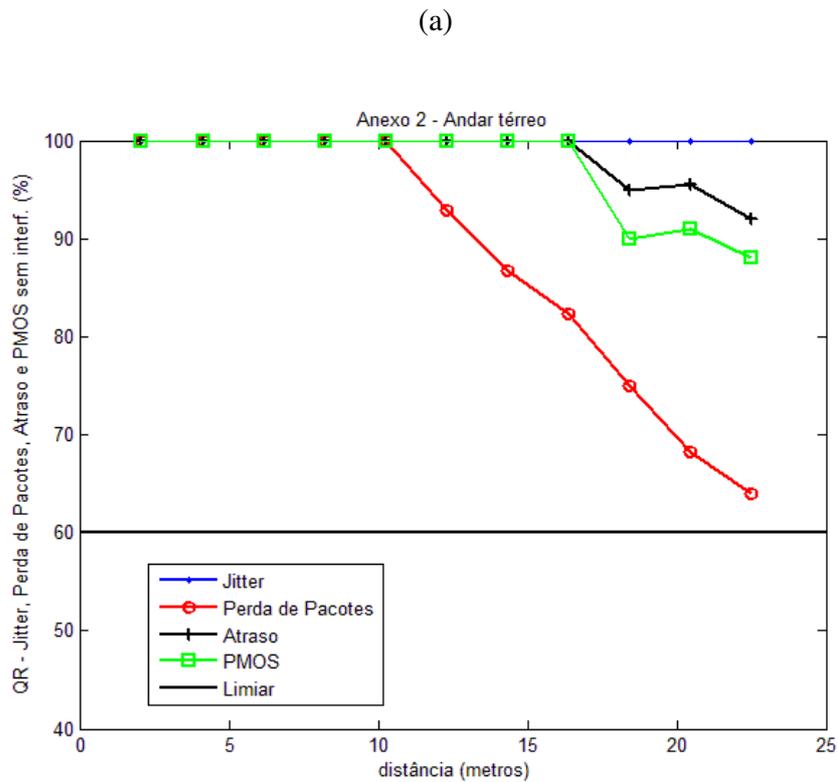
Uma estratégia original usada para análise dos resultados é o qualificador de rede (QR), o qual considera os padrões de QoS definidos através das recomendações: atraso - ITU-T G.114; *jitter* - ITU-T Y1540; perda de pacotes - ITU-T Y.1541; e PMOS definido em (COTANIS, 2003). Baseado nos valores de referência, os seguintes limites foram adotados: atraso menor ou igual a 250 ms; *jitter* menor ou igual a 30ms; perda de pacotes menor ou igual a 1%; e PMOS maior ou igual a 3. Através do uso desses valores limites, o qualificador de rede é definido.

$$QR = A/T * 100$$

Onde A é o número de amostras que atendem aos valores limites padronizados pelo ITU-T e T é o número total de amostras coletadas.

Uma análise possível seria checar qual dos parâmetros coletados tem mais variação com a distância para ambos os cenários pavilhão de salas de aula e prédio anexo de laboratórios. A Figura 5.12(a) e 5.12(b) mostra a variação do qualificador de rede com a distância para cada parâmetro de QoS os cenários pavilhão e anexo, respectivamente.



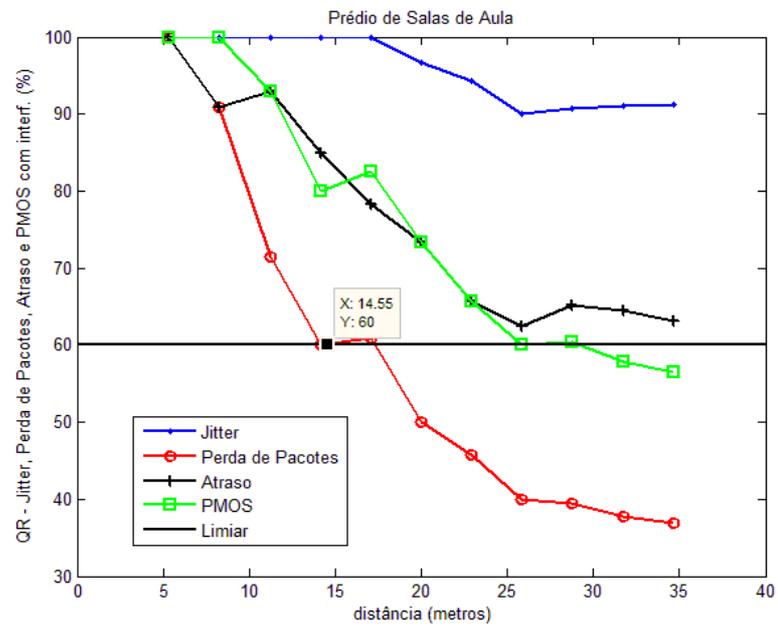


(b)

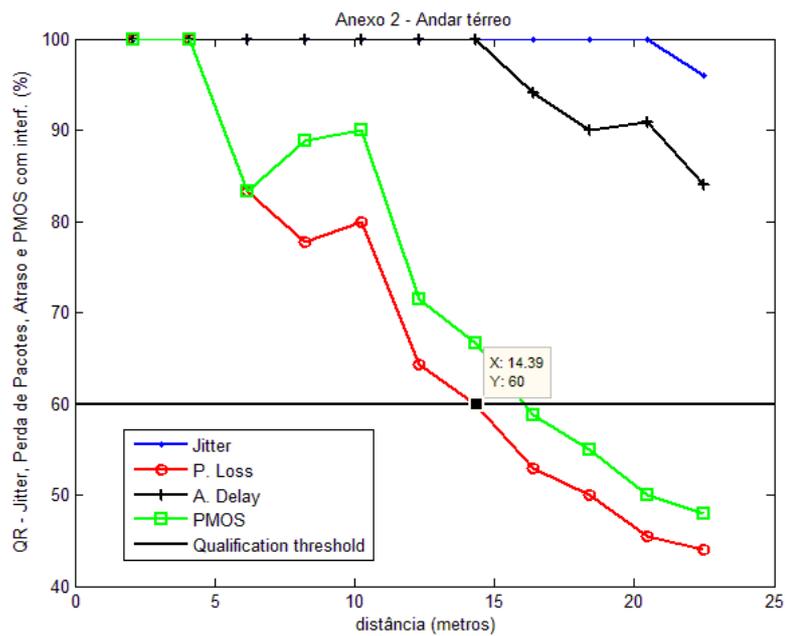
Figura 5.12 Variação dos parâmetros de QoS com a distância para o prédio de salas de aula e para o prédio anexo de laboratórios sem interferência.

O parâmetro mais sensível com a distância é a perda de pacotes em vermelho na Figura 5.12(a) e 5.12(b). Pode também ser observado que nesta rede em estudo, sem a presença da rede interferente, que todas as medidas ficam acima de 60% e pode ser satisfatório em cobertura e qualidade. Esse limite depende dos tomadores de decisão e significa que 60% dos valores coletados satisfazem a padronização do ITU-T.

Outra análise pode ser feita após as medidas com a presença da rede interferente conforme Figura 5.13(a) e 5.13(b). Pode ser observado que não somente a perda de pacotes se torna sensível, mas o PMOS também. A cobertura em relação ao PA fica reduzida para em aproximadamente 14 metros.



(a)



(b)

Figura 5.13 Variação dos parâmetros de QoS com a distância para o prédio de salas de aula e prédio anexo de laboratórios com interferência.

5.2.3 Estabelecimento de Correlações

Dentre as diversas técnicas de inteligência computacional para correlação de variáveis, as redes Bayesianas se destacam como modelos gráficos probabilísticos para representação de conhecimento e raciocínio em domínios onde existem incertezas. Conforme descrito no capítulo 3, esses modelos possuem como componentes uma estrutura qualitativa, representando as dependências entre os nós, e quantitativa (tabelas de probabilidades condicionais), avaliando, em termos probabilísticos, essas dependências (CHEN, 2001), (KORB; NICHOLSON, 2004). Juntos esses componentes propiciam uma representação eficiente da distribuição de probabilidade conjunta do conjunto de variáveis X de um determinado domínio (PEARL, 1988).

Desta maneira, uma vez montada a rede, pode-se verificar o seu comportamento futuro, dadas inúmeras variações que os seus atributos possam apresentar, dependendo da abordagem que o usuário selecione. Assim, o usuário pode verificar como irá se comportar a rede dada determinada modificação em algum de seus atributos, isso porque uma vez modificado um dado, os seus valores (probabilidades relacionadas com o nó em questão) são propagados para os demais nós de acordo com a sua dependência, ajustando a rede de acordo com a modificação feita, e permitindo-se verificar o comportamento e as variações ocorridas na rede.

Dessa forma, através das RBS, pode-se prever como a aplicação VoIP irá se comportar nas redes sem fio ou quais seriam as características físicas que a rede deveria possuir para que conseguisse atender a essa nova necessidade, possibilitando assim atender a necessidade do usuário de qualidade.

A Figura 5.14 representa as RBs montadas contendo todos os atributos obtidos através dos testes empíricos (vide subseção 5.2.1) para o cenário 1. Cada nó possui uma tabela de probabilidades associada a ele (ex. *Delay*), além dos nós estão também representadas as suas dependências através da direção de suas ligações (e.g. o fato de haver interferência na rede em estudo influi na probabilidade de haver alguma variação no *jitter* da aplicação VoIP, e esta por sua vez no MOS do VoIP).

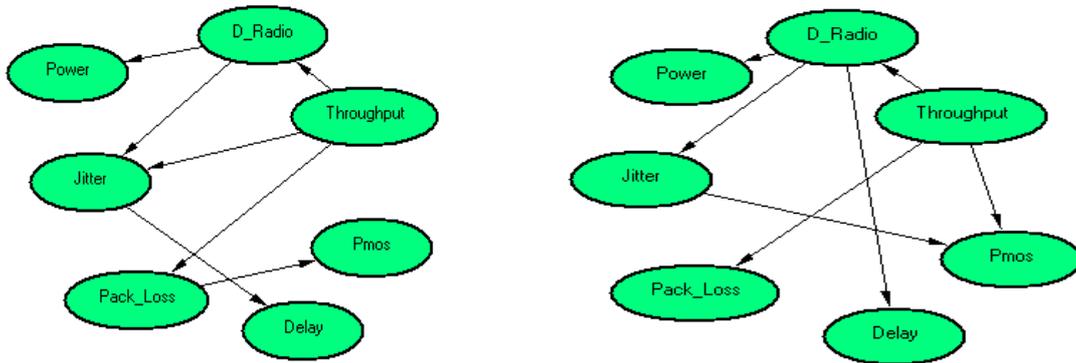


Figura 5.14 Resultados de redes Bayesianas sem (a) e com (b) interferência.

Uma vez que essas redes foram estabelecidas e foi então verificado que elas representavam o sistema real, inferências podem ser feitas nessas redes Bayesianas que permitem verificar o comportamento da rede.

O relacionamento dos parâmetros da camada física e das métricas de QoS para redes sem e com interferência podem ser identificadas graficamente e mostrando que a interferência tem um grande impacto nas relações de probabilidade como observado na Figura 5.14 (a) e (b), pois as ligações que conectam os nós mudaram de uma rede para outra. Os outros impactos serão demonstrados nos estudos de caso, onde as inferências serão realizadas.

Para análise dos cenários obtidos, foram implementados alguns estudos de casos que demonstram a utilização desta abordagem para planejamento de redes.

No primeiro estudo de caso, foi utilizado parâmetro de camada física no limite, no caso, a pior faixa de nível de sinal. Objetiva-se com essa seleção encontrar a distância máxima e o conjunto de parâmetros de QoS que nos possibilite realizar a transmissão VoIP com qualidade. Desta forma, ainda que distante dos pontos de acesso teriam condições de decidir se a aplicação tem suporte por parte de seus parâmetros para garantir a satisfação dos usuários. Os resultados são comparados entre as redes com e sem interferência.

No segundo estudo de caso, realiza-se o processo inverso. É dado como entrada (inferenciado) um determinado *throughput* (a faixa mais alta) e observa-se o impacto desta definição nas medidas de desempenho das aplicações, inclusive nas medidas de camada física nível de sinal e distância ao PA, comparando seus resultados novamente no cenário com e sem interferência.

No terceiro estudo de caso, realiza-se o processo inverso em relação ao estudo de caso 1. É dado como entrada (inferenciado) o melhor nível de sinal (a faixa mais alta) e observa-se o impacto desta definição nas medidas de desempenho das aplicações, inclusive a distância ao PA comparando seus resultados novamente no cenário com e sem interferência.

No quarto estudo de caso, é dado como entrada (inferenciado) um determinado *throughput* (a faixa mais baixa) e observa-se o impacto desta definição nas medidas de desempenho das aplicações, inclusive nas medidas de camada física nível de sinal e distância ao PA, comparando seus resultados novamente no cenário com e sem interferência.

Objetiva-se, com estes estudos, mostrar que alterações graves no nível físico afetam as camadas superiores. Através das informações sobre a interrelação entre as variáveis é possível oferecer ao protocolo a oportunidade de adaptá-lo e assim, diminuir o impacto desta mudança na qualidade do serviço prestado ao usuário. Caso ocorra uma interferência específica na transmissão (nível físico do protocolo TCP/IP) poder-se-ia diminuir a taxa de transmissão (atributo da camada de rede) e desta forma alterar a qualidade da voz entregue ao usuário (camada de aplicação do protocolo TCP/IP).

Seguindo este objetivo, uma vez definida a RB e de posse dos dados disponibilizados por ela (relacionamento entre os atributos, probabilidades de estar em determinados estados, etc.), definem-se os parâmetros mínimos a serem estabelecidos, ou seja, as faixas de valores para determinados atributos.

5.2.3.1 – Estudo de Caso 1: Pior faixa de nível de sinal

A primeira inferência a ser mostrada (Figura 5.15) refere-se ao nível de sinal com o pior valor (na faixa de -76.145 até -72.166 dBm), considerando interferência, a probabilidade do *throughput* estar entre 128930.0 até 147600.0 bps é de 56.9%. Quando a interferência não é considerada (Figura 5.14- na faixa de -75.414 até -75.31 dBm), a probabilidade do *throughput* de estar entre 151820.0 até 152110.0 bps é 67.2%. Conseqüentemente, existe uma mudança na rede em estudo para essa métrica específica.

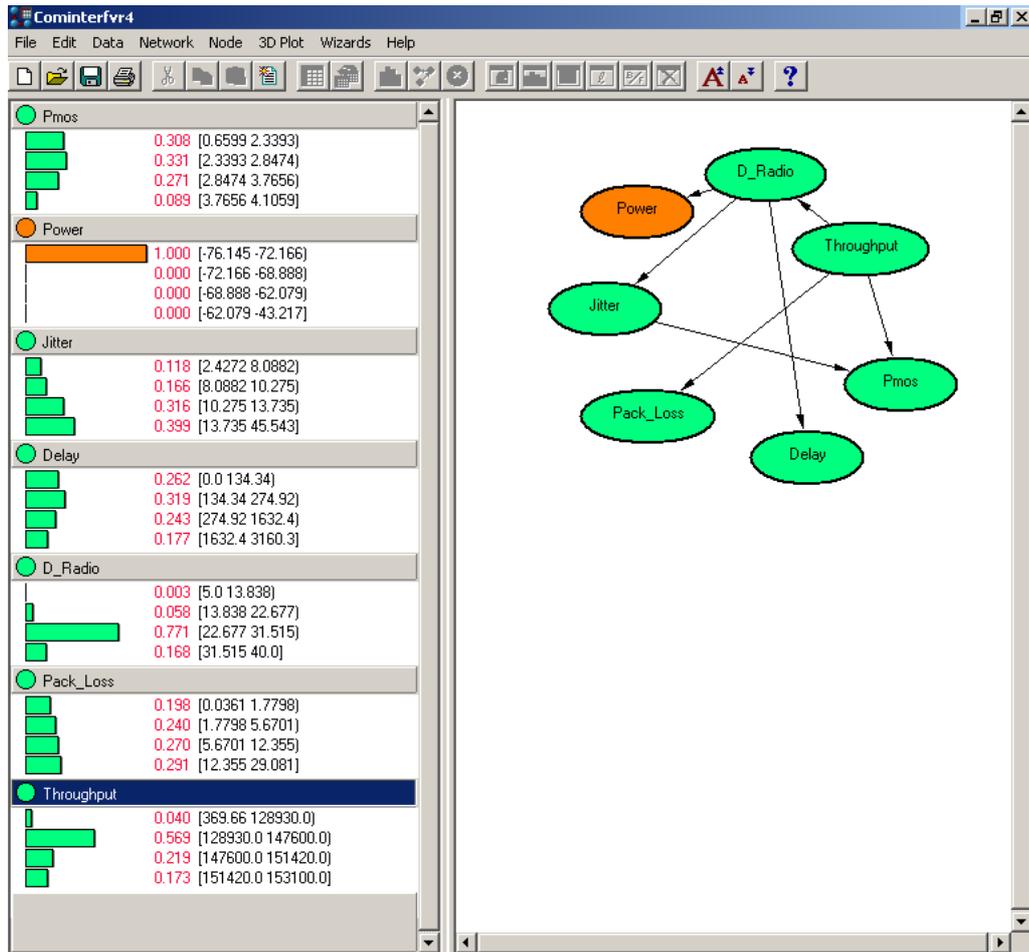


Figura 5.15 Redes Bayesianas com inferência de pior nível de sinal com interferência.

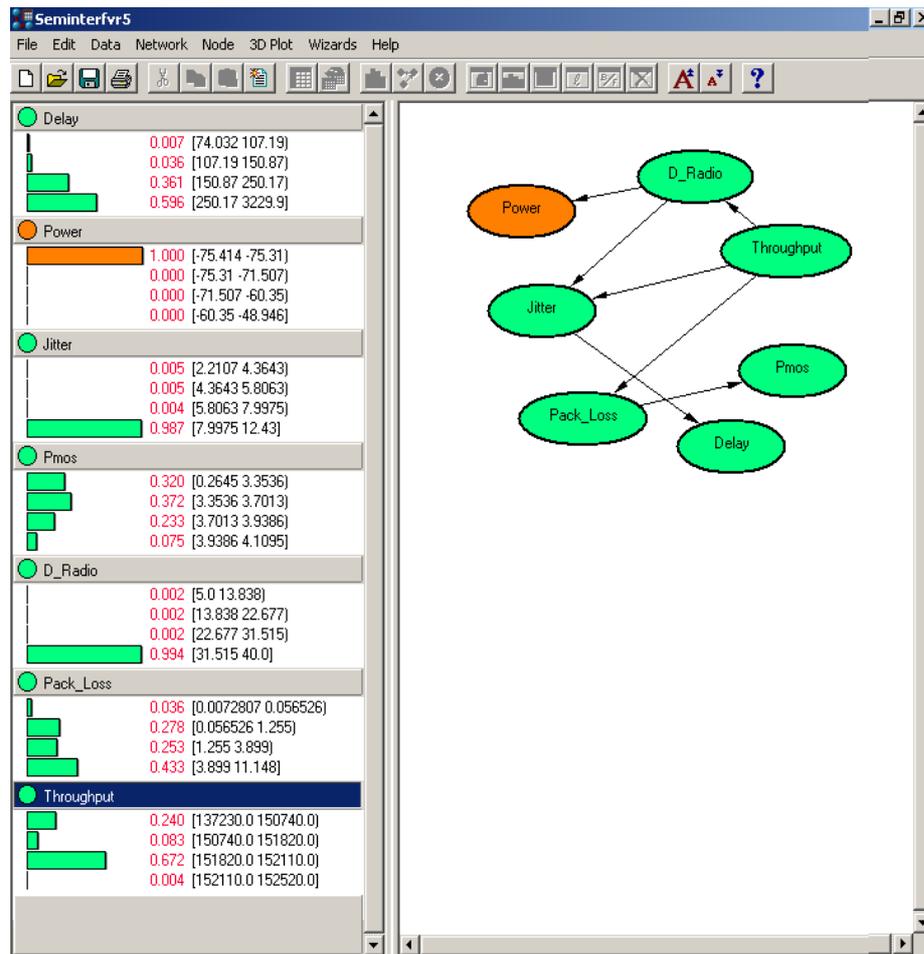


Figura 5.16 Redes Bayesianas com inferência de pior nível de sinal sem interferência.

Similarmente, os resultados são mostrados para outras métricas. No caso do *packet loss*, sua probabilidade para rede com interferência é 29.1% de estar entre 12.35% até 29.081%, enquanto que o valor é 43.3% de estar entre 3.89% até 11.148% quando a interferência não é considerada. Considerando agora o *jitter*, sua probabilidade de estar entre 13.375 ms até 45.543 ms é 39.9% para a rede com interferência. Esse valor aumenta para 98.7% de estar entre 7.9975 ms até 12.43 ms para rede sem interferência.

O PMOS também foi afetado pela interferência. A probabilidade do PMOS para a rede com interferência é 33.1% de estar entre 2.33 até 2.84 e para a rede sem interferência é 37.2% de estar entre 3.35 até 3.7. Os valores de probabilidade do *delay* foram 95.7% de estar entre 150.87 ms até 3229.9 ms (rede sem interferência) e 73.9% de estar entre 134.34 ms até 3160.3 ms (rede com interferência).

5.2.3.2 – Estudo de Caso 2: Melhor faixa de *throughput*

Outra evidência, mostrando a influência da interferência, pode ser mostrada no experimento no qual o maior intervalo de *throughput* foi selecionado. As Figuras 5.17 e 5.18 mostram os resultados. O maior valor de *throughput* para rede com interferência fica entre 151420.0 até 153100.0 bps enquanto que para rede sem interferência fica entre 152110.0 até 152520 bps. Outra métrica a ser analisada é o *packet loss*, na rede com interferência ele apresentou a maior probabilidade (71.5%) de estar entre 0,0361% até 1.7798%. Mas na rede sem interferência apresentou a maior probabilidade de 91.4% de ser zero.

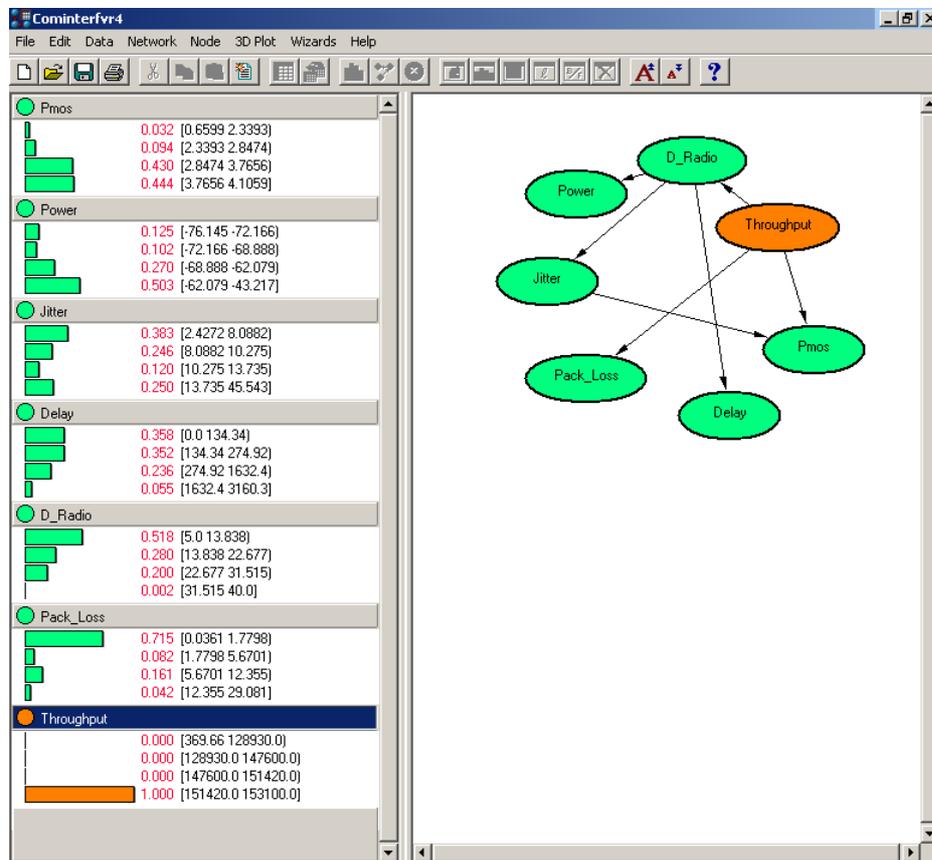


Figura 5.17 Redes Bayesianas com inferência de melhor *throughput* com interferência.

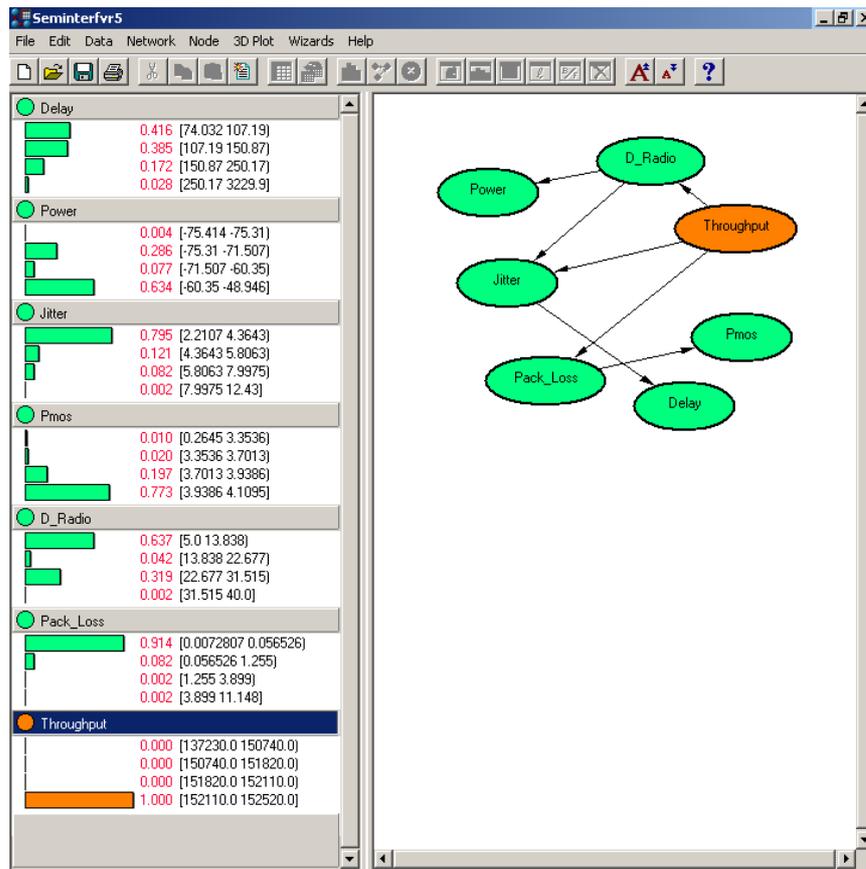


Figura 5.18 Redes Bayesianas com inferência de melhor *throughput* sem interferência.

A probabilidade do *jitter* estar abaixo de 8.08 ms é 38.3% no caso da rede com interferência e a probabilidade de estar abaixo de 4.36 ms é 79.5% no caso da rede sem interferência. O PMOS (na rede sem interferência) tem a probabilidade de 97% de estar entre 3.7013 e 4.1095. O comportamento dessa métrica na rede com interferência apresentou a probabilidade de 44% de estar entre 3.7656 até 4.1059. Contudo, pode ser visto que existiu um impacto da interferência. Os valores de probabilidade do *delay* foram 80.1% de estar entre 74.032 ms até 150.87 ms (rede sem interferência) e somente 35.8% de estar entre 0 ms até 134.34 ms (rede com interferência), mostrando que a interferência aumenta a probabilidade do *delay* ser maior do que o máximo recomendado pelo ITU.

5.2.3.3 – Estudo de Caso 3: Melhor faixa de nível de sinal

Outra inferência realizada é a seleção da maior potência ou maior faixa de nível de sinal no cenário com e sem interferência como mostram as Figuras 5.19 e 5.20.

O *throughput* foi afetado pela interferência por que seus valores de probabilidade diminuíram de 63.3% (na faixa de 152110 to 152520 bps) para 50.3% de estar entre 151420 até 153100 bps. O *packet loss* para rede sem interferência é 59.4% ser zero. Considerando a interferência, a probabilidade é de 40.8% de estar entre 0% até 1.7798%. A probabilidade do *jitter* é 75.1% de estar entre 2.2107 ms até 4.3643 ms para o cenário sem interferência, caso contrário, para o cenário com interferência a probabilidade é 46.2% de estar entre 2.42 ms até 8.08 ms.

O PMOS (na rede sem interferência) tem a o valor de probabilidade de 52.8% de estar entre 3.9386 e 4.1095 e seu valor diminuiu para 40% de estar entre 3.7656 até 4.1069, considerando a interferência. Finalmente, o *delay* apresentou os seguintes valores de probabilidade: para rede sem interferência 80.9% de estar entre 74.032 ms até 150.87 ms e para rede com interferência é 86.7% de estar entre 0 ms até 274.92 ms. O limite superior do *delay* com interferência aumentou para 272.92 ms mostrando de novo que a interferência influenciou a probabilidade do *delay*.

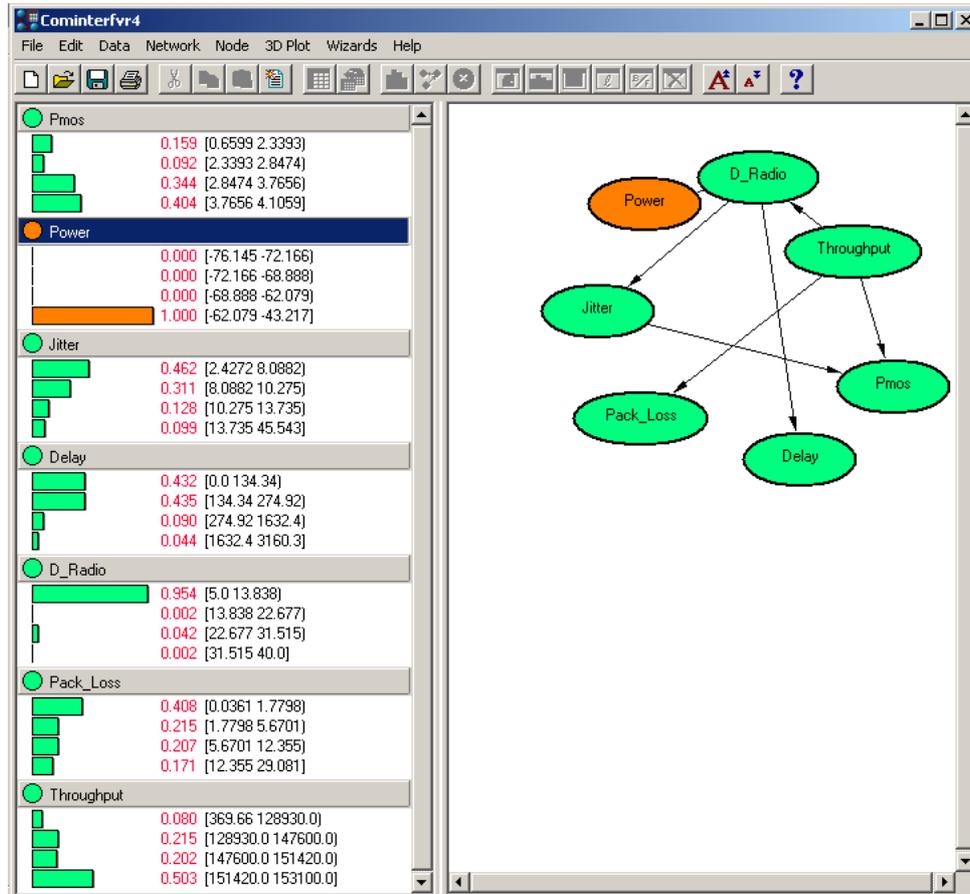


Figura 5.19 Redes Bayesianas com inferência de melhor nível de sinal com interferência.

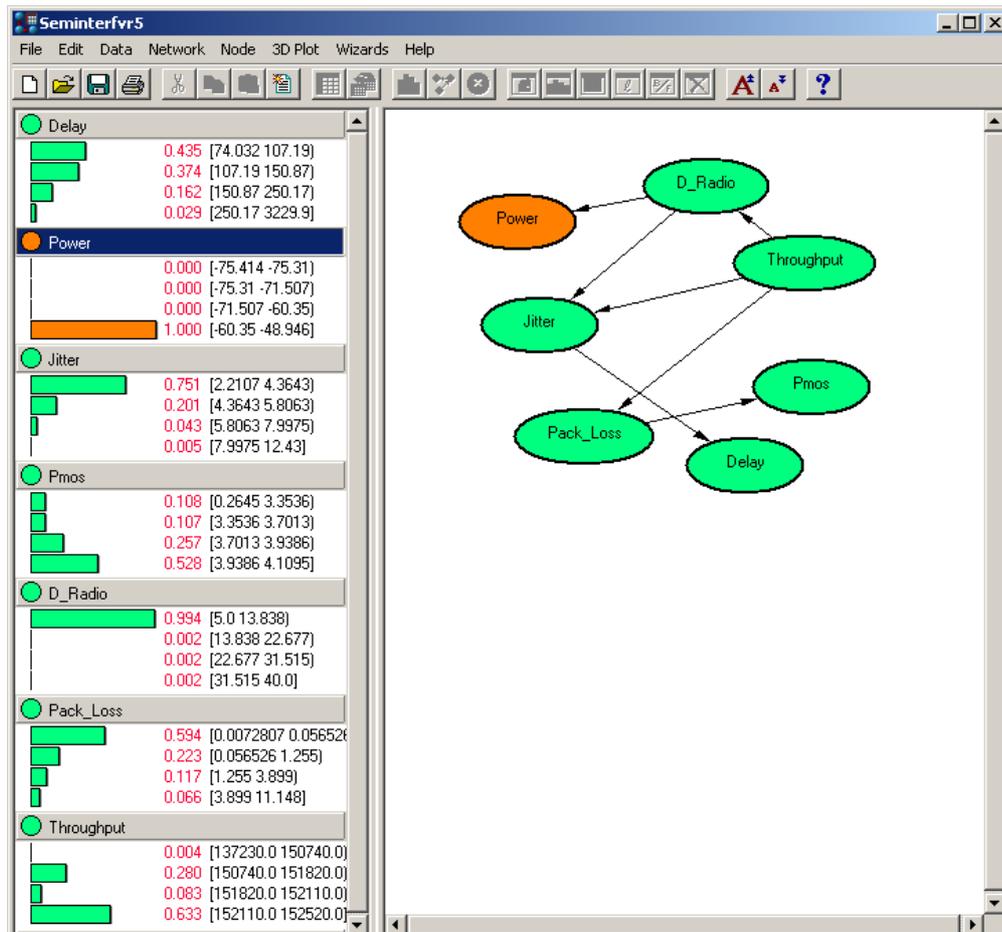


Figura 5.20 Redes Bayesianas com inferência de melhor nível de sinal sem interferência.

5.2.3.4 – Estudo de Caso 4: Pior faixa de *throughput*

A última inferência realizada é a seleção do mais baixo *throughput* no cenário com e sem interferência como está mostrado nas Figuras 5.21 e 5.22.

O *packet loss* para rede com interferência com inferência de mais baixo *throughput* é 45.3% de estar entre 12.355% até 29.081%. Considerando a rede sem interferência, a probabilidade é 47.8% de estar entre 1.255% até 3.899%.

A probabilidade do *jitter* é 51.7% de estar entre 7.9975 ms até 12.43 ms para o cenário sem interferência, caso contrário no cenário com interferência a probabilidade é 61.9% de estar entre 10.275 ms até 45.543 ms. Essa métrica também foi afetada pela interferência aumentando os valores de *jitter* ruim.

O PMOS (na rede sem interferência) tem o valor de probabilidade de 43% de estar entre 0.2645 até 3.3536 e seu valor aumentou para 90.7% de estar entre 0.5499 até 2.8474,

considerando a interferência. Finalmente, o *delay* apresentou os seguintes valores de probabilidade: para rede sem interferência 71.4% de estar entre 150.87 ms até 3229.9 ms e para rede com interferência é 84.9% de estar entre 134.34 ms até 3160.3 ms. O valor de probabilidade do *delay* aumentou para o cenário com interferência como as outras métricas analisadas como *jitter* e *packet loss*. A rede Bayesiana mostrou mais uma vez que a interferência, de fato, afeta os parâmetros de QoS.

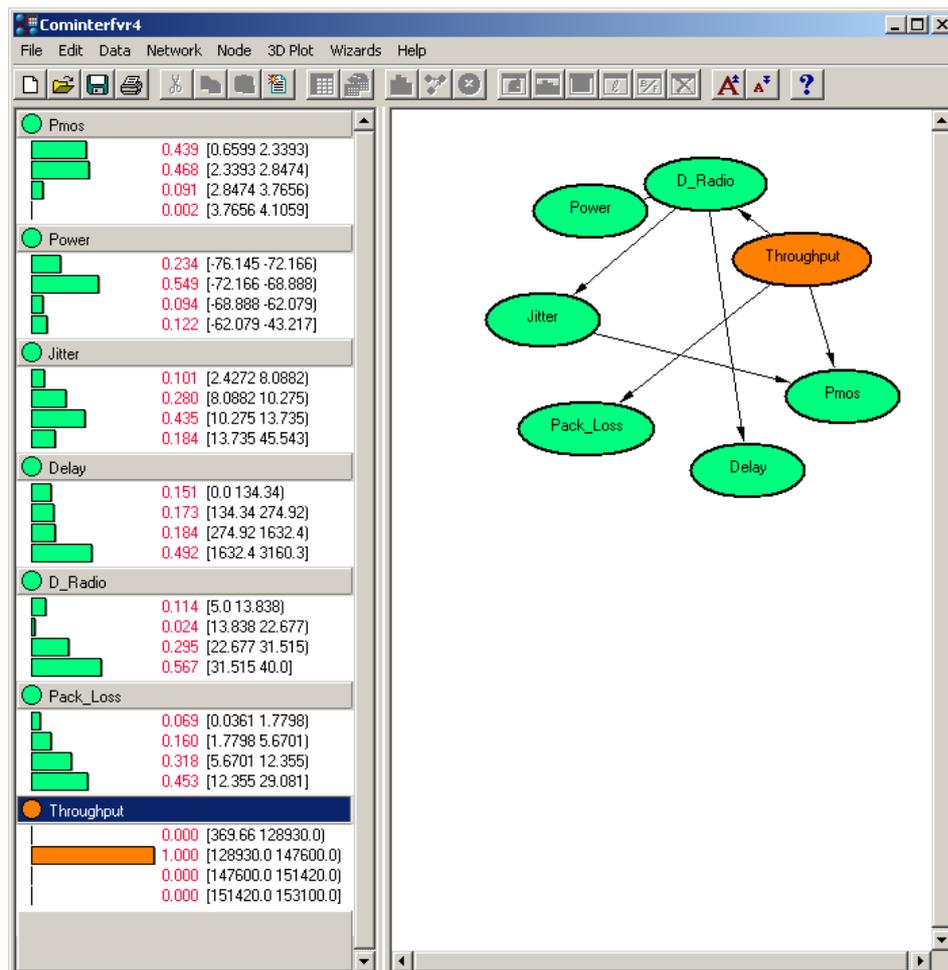


Figura 5.21 Redes Bayesianas com inferência de baixo *throughput* com interferência.

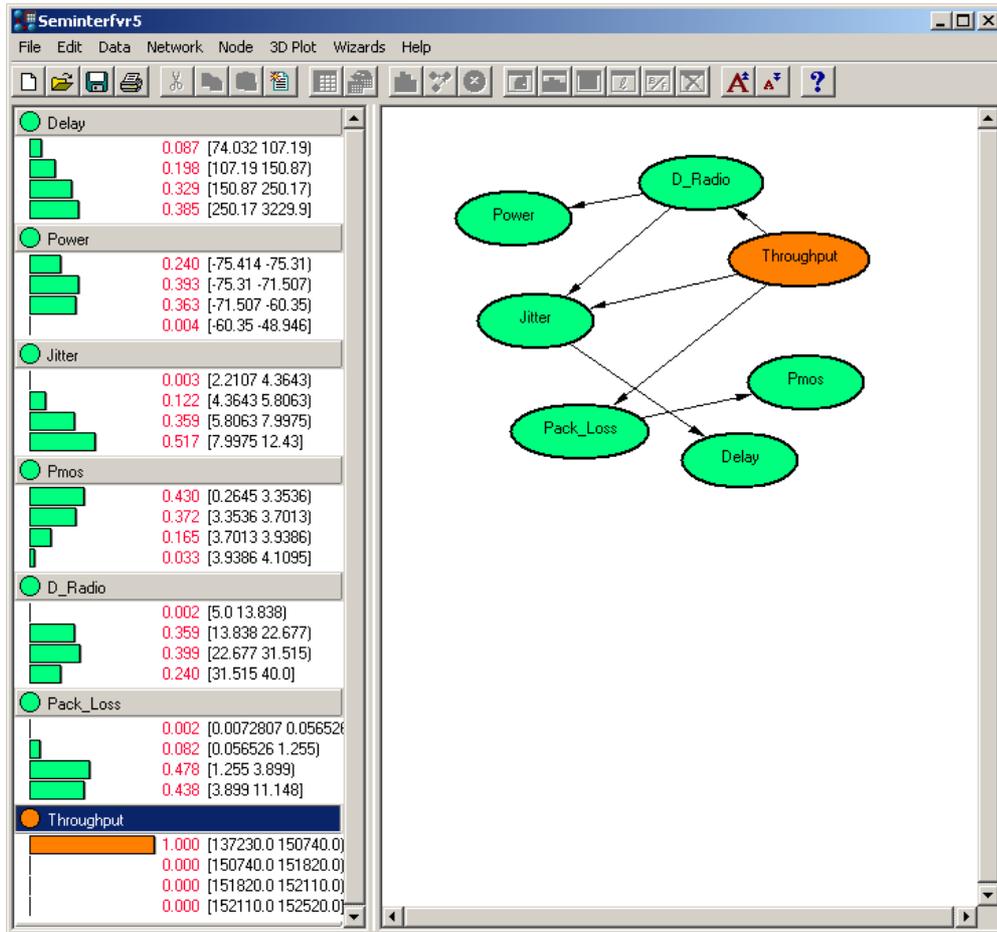


Figura 5.22 Redes Bayesianas com inferência de baixo *throughput* sem interferência.

Com os dados obtidos da rede Bayesiana, a citar, tabelas de probabilidade condicional e tabelas de variância (Figura 5.23), um programa feito no matlab (MATLAB, 2011) foi usado para traçar os mapas probabilísticos das métricas, permitindo a visualização dos valores com a distância que posteriormente serão submetidos ao algoritmo genético para seleção da melhor posição do PA.

```
probcond_throughput = [ 0.082 0.200 0.200 0.517
0.121 0.042 0.557 0.280
0.042 0.517 0.240 0.200
0.002 0.993 0.002 0.002];
```

```
probcond_PMOS= [ 0.121 0.082 0.280 0.517
0.240 0.082 0.280 0.399
0.200 0.280 0.438 0.082
0.438 0.557 0.002 0.002]
```

Figura 5.23 Exemplos de tabelas de probabilidade condicional para *throughput* e PMOS

Na Figura 5.24 o eixo do x é distância em metros e representa a Figura do *layout* do pavilhão descrito na subseção 5.2.1, (Figura 5.10) o PA 1 denominado de Rede em Estudo está na posição 40 m em x (m) e o PA 2 denominado de Rede Interferente está na posição entre 0 e 5 m. O eixo dos y representa a largura das salas de aula chamados de Sala na Figura 5.10 e as cores representam os valores probabilísticos de nível de sinal ou potência variando de acordo com a legenda colocada ao lado do mapa. Para a análise do nível de sinal com e sem interferência há uma variação tolerável no nível de sinal, estando ainda dentro da faixa permitida pela utilização de medições no processo de coleta dos dados do nível de sinal. Pode ser observado que a cor marrom representando níveis de sinal de aproximadamente -56 dBm é obtido a partir da posição 25, invertendo o mapa para iniciar a partir do PA seriam $40 - 25 = 15$ m, ou seja em até 15 metros do ponto de acesso a maior parte das leituras de nível de sinal seriam aproximadamente -56 dBm.

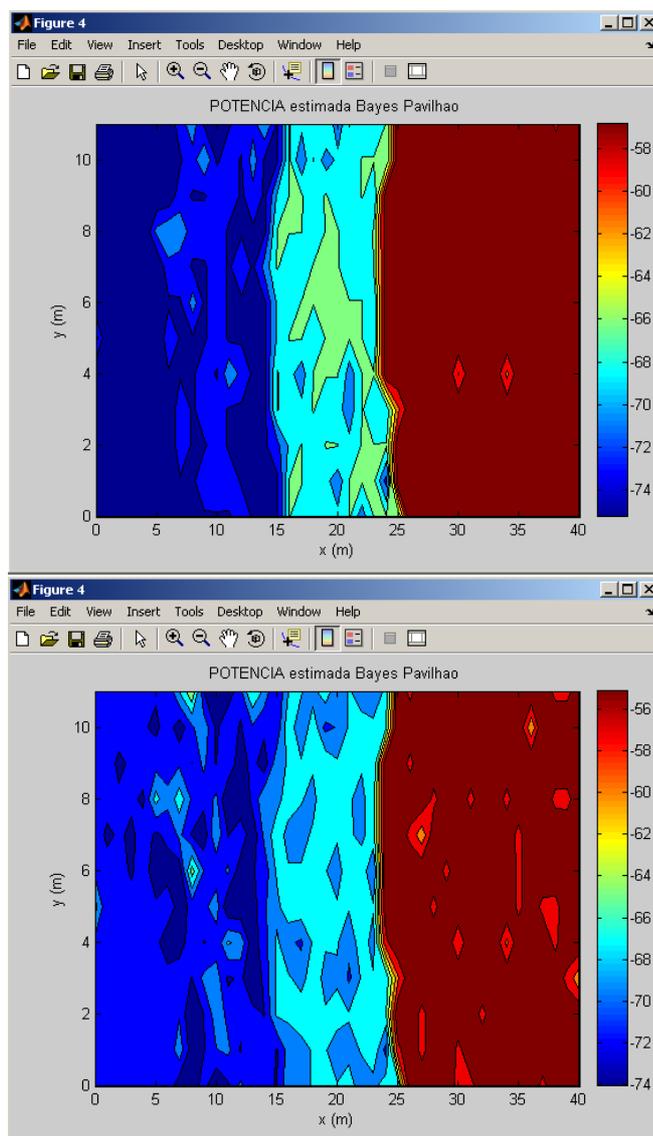


Figura 5.24: Mapas de nível de sinal para campanha de medição pavilhão sem interferência e com interferência.

Na Figura 5.25 observa-se que os valores de *jitter*, mencionados na legenda, tem variação significativa para a rede em estudo com e sem a presença da rede interferente. Na rede sem interferência encontra-se o valor em até 8 ms e na rede com interferência já se observa o valor acima de 18 ms entre as posições 5 e 25, o que representa $40 - 25 = 15$ metros do ponto de acesso já pode-se encontrar em vários pontos do prédio valores altos de *jitter*.

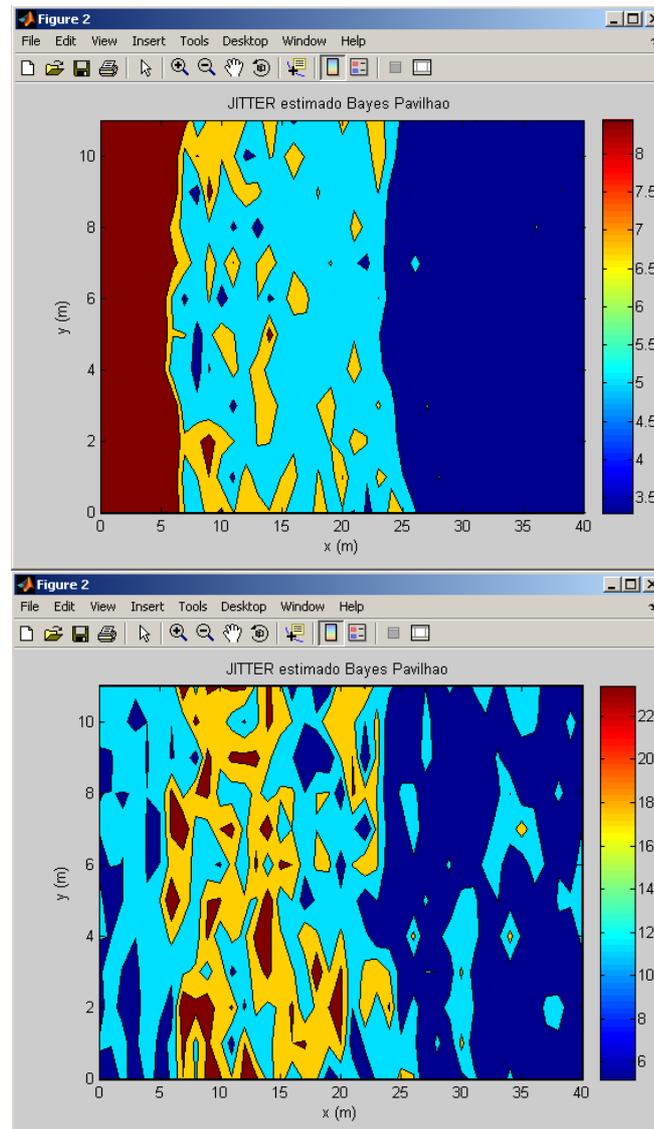


Figura 5.25: Mapas de *jitter* para campanha de medição pavilhão sem interferência e com interferência.

A mesma observação pode ser feita na Figura 5.26 onde os valores de perda de pacotes para a rede em estudo sem interferência, segundo a legenda da Figura em até 5.5% e com a presença da rede interferente pode alcançar valores acima de 18% em ponto próximo ao ponto de acesso PA 1.

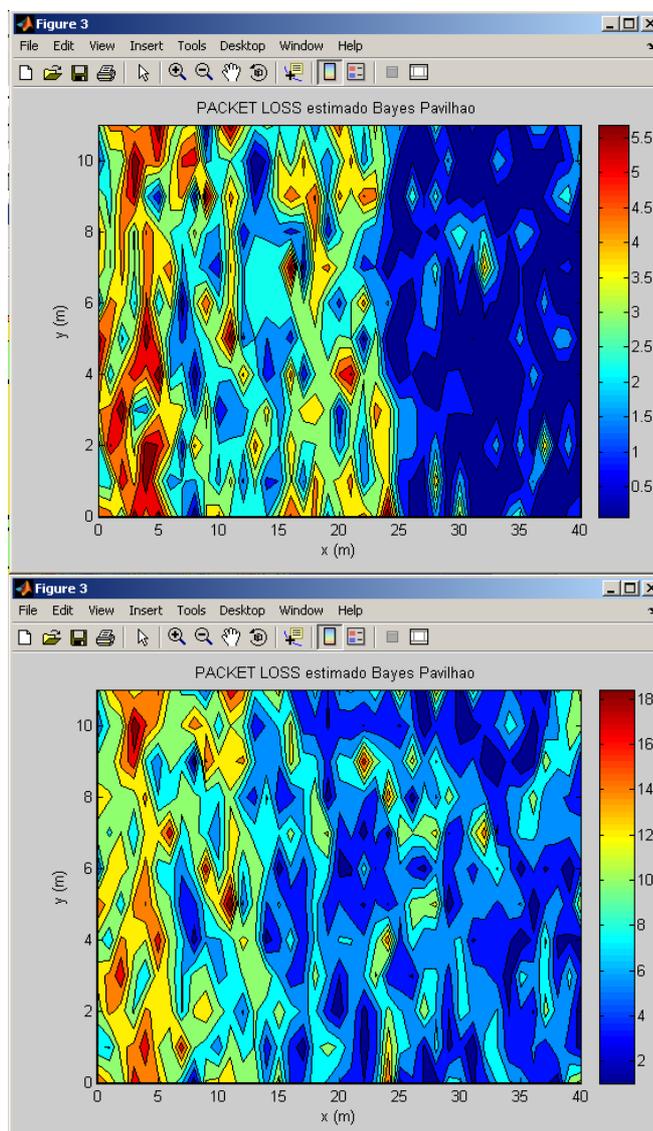


Figura 5.26: Mapas de *packet loss* para campanha de medição pavilhão sem e com interferência.

Finalmente, na Figura 5.27 o PMOS alcança valores acima de 3 em até 15 metros do ponto de acesso PA 1, na Figura 5.27 representado pela posição 25 para a rede sem interferência. Na rede com interferência observa-se a permanência da maior parte do prédio com valor abaixo de 2, representado pela cor azul a partir de 25 em direção a zero, ou seja, a partir de 15 metros do ponto de acesso a qualidade de voz tem uma alta probabilidade de ter o valor 2.

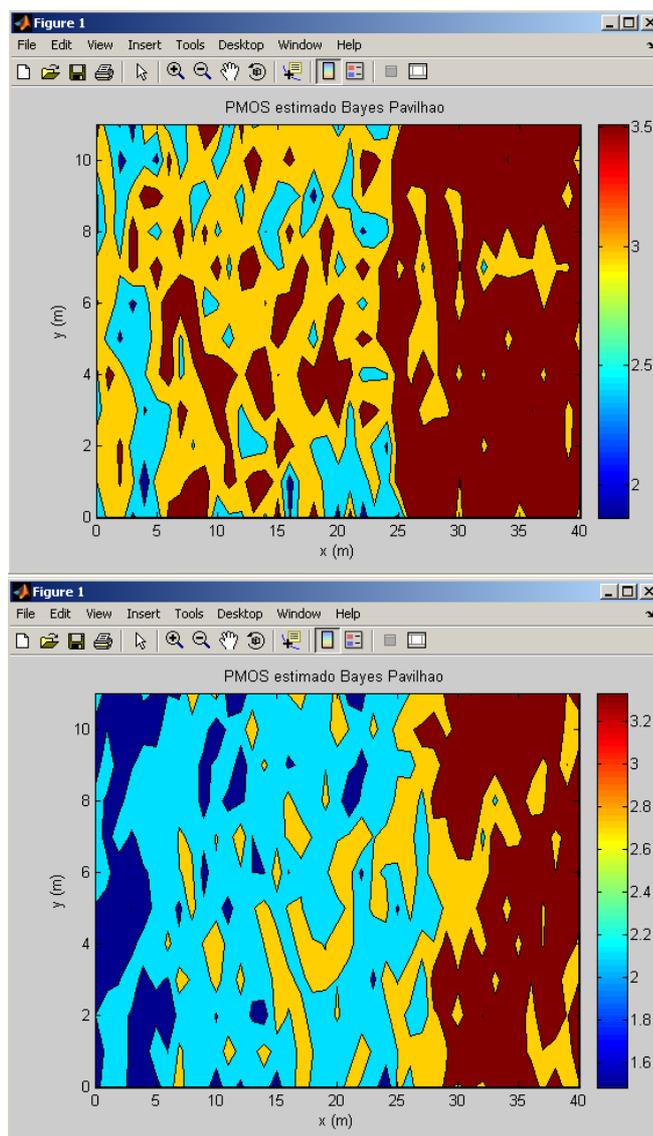


Figura 5.27: Mapas de PMOS para campanha de medição pavilhão sem e com interferência.

Vale ressaltar que na Figura 5.4 a saída da caixa diagnóstico que representa a finalização do estabelecimento de correlações pode ser a base de uma tomada de decisão pelo especialista de domínio, caso os resultados gerados não sejam suficientes ocorre à entrada no item 5.2.4 otimização que será detalhado na próxima subsecção.

5.2.4 Otimização

Conforme a Figura 5.4 qualquer técnica de otimização poderia ser aplicada para comparação de resultados. No entanto, foram escolhidas pelos motivos já expostos no capítulo 3, a citar a experiência dos grupos de pesquisa, as técnicas de algoritmos genéticos e enxame de partículas.

O efeito da interferência em parâmetros de qualidade de serviço foi estudado usando redes Bayesianas como método de inteligência computacional para quantificar e caracterizar a influência da interferência.

No entanto, as RBs apresentam uma restrição para determinar a análise de cenários ótimos, i.e. definir a melhor combinação de estados de determinadas variáveis (discreta ou contínua) que permitisse alcançar certa exigência (estado de uma ou mais variáveis do domínio). Em muitas aplicações reais, a busca de situações que conduzam à realização de determinados objetivos é extremamente importante. Para tratar este tipo de problema foi utilizada um sistema híbrido combinando o sistema de busca implementado pelos AGs com as características (parâmetros e estrutura de correlação) das RBs.

O objetivo deste modelo é identificar a melhor configuração, dentre os possíveis valores de variáveis existentes no domínio, o que maximiza um determinado atributo, identificando inicialmente as outras variáveis que apresentam uma dependência dele.

De outra maneira, o estudo de otimização híbrida com o uso de AG melhora o processo de descoberta do conhecimento resultante da abordagem Bayesiana. Estes resultados se diferenciam dos citados no capítulo 4 pelo fato de usar muitos parâmetros de QoS (potência, distância, *delay*, *jitter*, *packet loss* e PMOS) para definir a mínima distância ao PA para garantir os parâmetros de qualidade da aplicação.

O tipo de rede Bayesiana escolhida para ser usada nesse modelo híbrido foi a rede Naive, porque entre os muitos métodos de classificação existentes ela é uma das mais simples e computacionalmente mais eficiente; sendo também robusta contra ruídos nos dados e atributos irrelevantes, não permitindo a influência nas probabilidades dos outros atributos (SANTANA et al., 2011). Ela também representa com sucesso relacionamentos entre os atributos e uma única classe ainda que claramente haja dependência entres esses atributos.

Os dados coletados do analisador de protocolos depois da pré-análise foram dados como entrada ao software comercial, versão acadêmica, Bayesware Discoverer (BAYESWARE, 2011) para montar a rede Naive para os cenários 1 e 2 respectivamente. A Figura 5.28 mostra a Rede Naive gerada para o cenário 1 – pavilhão de salas de aula e, de acordo com as redes discutidas em (ARAÚJO et al., 2007), foi mostrado que a métrica distância influencia todas as métricas de QoS, incluindo potência. Por esta razão, na criação da rede Naive o atributo chave escolhido foi

distância e todos os outros atributos (*jitter*, *delay*, potência, *throughput*, PMOS e perda de pacotes) foram dependentes dele. Foram gerados 4 estados para cada atributo de QoS.

Uma vez gerada a rede, o próximo passo é fazer uso dos dados gerados pela Bayesiana, que são os atributos de estado que maximizam a distância ao PA. Nesse passo, os dados seriam as tabelas de probabilidade condicionais para cada atributo. Eles serão submetidos a um *script* de busca exaustiva escrito em Matlab (MATLAB, 2011). Desta maneira, o algoritmo de inferência foi implementado para verificar o valor máximo de probabilidade no qual a distância seria maximizada (equação(5.1)).

$$P(x_i | c_1, c_2, \dots, c_n) = P(x_i) \prod_{k=1}^n P(c_k | x_i) \quad (5.1)$$

onde c_1, c_2, \dots, c_n são possíveis eventos ocorridos e x_i é o evento que queremos observar.

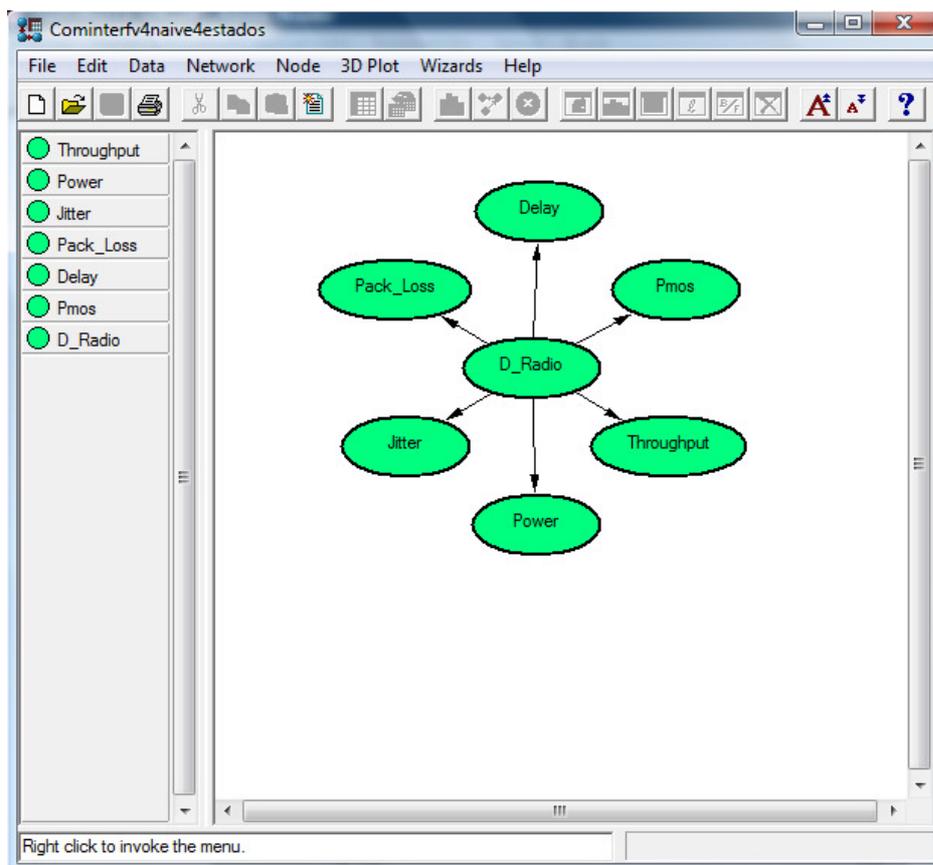


Figura 5.28 Rede Bayesiana Naive gerada para o cenário 1.

As faixas de valores de atributos relacionados a sua condição máxima foram armazenados nos vetores X1 a X6. Entretanto, depois da busca exaustiva os resultados obtidos foram faixas de valores dos estados para essa maximização, ao invés de um simples valor para cada atributo. Ao final desta etapa (após a análise do AG) são obtidos os respectivos estados para esta maximização, para cada atributo. A função aptidão do AG foi obtida dos dados através da aplicação de um regressor generalizado (MATLAB,2011) implementado sobre os atributos X1 até X6 considerando somente os dados localizados nas faixas encontradas no passo anterior que maximizam a distância. O regressor é uma micro rede neural radial de base (Radial Basis Function) que é muito usada para aproximações de funções (MATLAB, 2011). Trata-se do comando *newgrnn* como observado a seguir:

$$\begin{aligned} \text{net} &= \text{newgrnn}(\text{XW}, \text{Y}) \\ \text{Vc} &= \text{sim}(\text{net}, \text{U}) \end{aligned} \quad (5.2)$$

onde net é um novo regressor neural generalizado, Xw é a matriz com os vetores de entrada X1 a X6 e Y são os valores de distância. Os valores de Y (distância) são os alvos. Vc conterá os valores calculados da regressão para os dados de entrada U.

No algoritmo implementado, um gene foi representado por cada métrica e juntos todas as métricas formam um cromossomo. O gene pode ter valores que representam as faixas de métricas permitidas. Cada possível cromossomo representa uma combinação de métrica e a qualidade do cromossomo foi avaliada usando a função aptidão gerada pela equação 5.2.

O restante do processo foi feito pelo AG, que em cada iteração são realizadas operações que incluem seleção, *crossover* e mutação.

Para o cenário 1- pavilhão de salas de aula, foram selecionados dois estudos de caso para as seguintes restrições, chamados neste trabalho de *bounds*:

Bounds 1:

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>
Potência	-50, -60 dBm
PMOS	3, 4
<i>Throughput</i>	140000, 153000 bps
<i>Delay</i>	0, 400 ms
<i>Jitter</i>	15, 30 ms
<i>Packet loss</i>	1, 3 %

Bounds 2:

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>
Potência	-50, -50 dBm
PMOS	3, 3
<i>Throughput</i>	150000, 150000 bps
<i>Delay</i>	400, 400 ms
<i>Jitter</i>	30, 30 ms
<i>Packet loss</i>	3, 3 %

Estudo de Caso 1 para o cenário 1 implementando AG como estratégia de otimização:

Nas simulações o número de gerações foi de 600 para o estudo de caso 1 (mostrado na Tabela 5.1) e o tamanho da população foi de 40.

Tabela 5.1 Estudo de caso 1 para o cenário 1 – pavilhão de salas de aula (AG)

Métricas/Atributos	Bounds	Solução Final
Potência	-50, -60 dBm	-59.880955723659 dBm
PMOS	3, 4	3.738200108790
<i>Throughput</i>	140000, 153000 bps	152753.777501153210 bps
<i>Delay</i>	0, 400 ms	289.805787057121 ms
<i>Jitter</i>	15, 30 ms	29.975735522629 ms
<i>Packet loss</i>	1, 3 %	2.828670132183 %
Distância (D_Radio-> Y)		21.97 metros

Estudo de Caso 2 para o cenário 1, implementando AG como estratégia de otimização:

Para o estudo de caso 2 (mostrado na Tabela 5.2) o número de gerações foi de 400 e o tamanho da população foi de 40 também. O processo de otimização durou menos de 10 minutos em um Pentium IV 756 MRAM Notebook Computer. Com os parâmetros de QoS definidos na Tabela 5.1 como restrições, os resultados finais do AG estão dentro das restrições e a distância

mínima ao PA foi de 21.97 metros. Na segunda simulação, ou seja, no segundo estudo de caso mostrado na Tabela 5.2, todas as métricas foram restritas e o resultado final foi uma distância aproximadamente 16.66 metros. Após outros testes, observou-se que isso ocorreu devido ao fato da potência ter, neste segundo estudo de caso, um valor mais alto de -50 dBm.

Tabela 5.2 Estudo de Caso 2 para o cenário 1- pavilhão de salas de aula (AG)

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>	Solução Final
Potência	-50, -50 dBm	-50 dBm
PMOS	3, 3	3
<i>Throughput</i>	150000, 150000 bps	150000 bps
<i>Delay</i>	400, 400 ms	400 ms
<i>Jitter</i>	30, 30 ms	30 ms
<i>Packet loss</i>	3, 3 %	3 %
Distância (D_Radio-> Y)		16.66 metros

Para o cenário 2- prédio anexo de laboratórios, também foram selecionados dois estudos de caso para as seguintes restrições:

Bounds 1:

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>
Potência	-50, -60 dBm
PMOS	3, 4
<i>Throughput</i>	138000, 140000 bps
<i>Delay</i>	0, 400 ms
<i>Jitter</i>	15, 30 ms
<i>Packet loss</i>	1, 3 %

Bounds 2:

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>
Potência	-50, -50 dBm
PMOS	3, 3

<i>Throughput</i>	140000, 140000 bps
<i>Delay</i>	400, 400 ms
<i>Jitter</i>	30, 30 ms
<i>Packet loss</i>	3, 3 %

Estudo de Caso 1 para o cenário 2- prédio anexo de laboratórios (AG):

Nas simulações o número de gerações foi de 5900 para o estudo de caso 1 (mostrado na Tabela 5.3) e o tamanho da população foi de 40.

Tabela 5.3 Estudo de Caso 1 para o cenário 2- prédio anexo de laboratórios (AG):

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>	Solução Final
Potência	-50, -60 dBm	-50.000050473 dBm
PMOS	3, 4	3.999999680
<i>Throughput</i>	138000, 140000 bps	138000.001760244 bps
<i>Delay</i>	0, 400 ms	399.995615680 ms
<i>Jitter</i>	15, 30 ms	29.999957624 ms
<i>Packet loss</i>	1, 3 %	2.999991371 %
Distância (D_Radio-> Y)		16.48 metros

Estudo de Caso 2 para o cenário 2 - prédio anexo de laboratórios (AG):

Nas simulações o número de gerações foi de 400 para o estudo de caso 2 (mostrado na Tabela 5.4) e o tamanho da população foi de 40.

Com os parâmetros de QoS definidos na Tabela 5.3 como restrições, os resultados finais do AG estão dentro das restrições e a distância mínima ao PA foi de 16.48 metros. Na segunda simulação, ou seja, no segundo estudo de caso mostrado na Tabela 5.4, todas as métricas foram restritas e o resultado final foi uma distância aproximadamente 14.08 metros. Após outros testes, observou-se que isso também ocorreu devido ao fato da potência ter, neste segundo estudo de caso, um valor mais rígido de -50 dBm.

Tabela 5.4 Estudo de Caso 2 para o cenário 2- prédio anexo de laboratórios (AG):

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>	Solução Final
Potência	-50, -50 dBm	-50.00 dBm
PMOS	3, 3	3
<i>Throughput</i>	140000, 140000 bps	140000 bps
<i>Delay</i>	400, 400 ms	400 ms
<i>Jitter</i>	30, 30 ms	30 ms
<i>Packet loss</i>	3, 3 %	3 %
Distância (D_Radio-> Y)		14.08 metros

O modelo foi testado em dois ambientes de prédios típicos. Baseado no uso dos experimentos, a melhor distância do PA foi selecionada de acordo com os resultados do AG atendendo aos requerimentos das aplicações. A estratégia proposta mostra que é viável para uma real implantação de WLAN.

Com o objetivo de validação da estratégia de otimização utilizada, optou-se por usar uma segunda técnica de otimização para comparação de resultados. Esta segunda técnica de otimização implementada foi o PSO. O problema foi definido como:

Maximizar distância

Sujeito a parâmetros de QoS seguindo recomendações ITU-T.

A primeira simulação ou estudo de caso 1, mostrado na Tabela 5.5, considerando as restrições (limites inferior e superior), mostram o resultado final e a distância ótima do PA seria de 23.43 metros.

Tabela 5.5 Estudo de caso 1 para o cenário 1 – pavilhão de salas de aula (PSO)

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>	Solução Final
Potência	-50, -60 dBm	-50.000 dBm
PMOS	3, 4	3.76
<i>Throughput</i>	140000, 153000 bps	147599 bps
<i>Delay</i>	0, 400 ms	400 ms
<i>Jitter</i>	15, 30 ms	30 ms

<i>Packet loss</i>	1, 3 %	3 %
Distância (D_Radio-> Y)		23.43 metros

A segunda simulação ou estudo de caso 2, mostrado na Tabela 5.6 tem como resultado que a distância ótima seria de 18.77 metros sob condições rígidas de QoS.

Tabela 5.6 Estudo de Caso 2 para o cenário 1 – pavilhão de salas de aula (PSO)

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>	Solução Final
Potência	-50, -50 dBm	-50 dBm
PMOS	3, 3	3
<i>Throughput</i>	150000, 150000 bps	150000 bps
<i>Delay</i>	400, 400 ms	400 ms
<i>Jitter</i>	30, 30 ms	30 ms
<i>Packet loss</i>	3, 3 %	3 %
Distância (D_Radio-> Y)		18.77 metros

A primeira simulação ou estudo de caso 1, mostrado na Tabela 5.7, para o cenário 2- prédio anexo de laboratórios, considerando as restrições (limites inferior e superior), mostram o resultado final e a distância ótima do PA seria de 18.67 metros.

Tabela 5.7 Estudo de Caso 1 para o cenário 2- prédio anexo de laboratórios (PSO):

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>	Solução Final
Potência	-50, -60 dBm	-55.98 dBm
PMOS	3, 4	4
<i>Throughput</i>	138000, 140000 bps	139018 bps
<i>Delay</i>	0, 400 ms	400 ms
<i>Jitter</i>	15, 30 ms	30 ms
<i>Packet loss</i>	1, 3 %	3 %
Distância (D_Radio-> Y)		18.67metros

Outrossim, o estudo de caso 2 para o cenário 2, conforme Tabela 5.8, considerando a situação rígida de QoS teve como distância máxima ao PA 13.28 metros.

Tabela 5.8 Estudo de Caso 2 para o cenário 2- prédio anexo de laboratórios (PSO):

Métricas/Atributos	<i>Bounds</i>	Solução Final
Potência	-50, -50 dBm	-50 dBm
PMOS	3, 3	3
<i>Throughput</i>	140000, 140000 bps	140000 bps
<i>Delay</i>	400, 400 ms	400 ms
<i>Jitter</i>	30, 30 ms	30 ms
<i>Packet loss</i>	3, 3 %	3 %
Distância (D_Radio-> Y)		13.28 metros

Pelos valores de distância pode-se afirmar que 50% do cenário 1 – pavilhão de salas de aula é coberto com boa qualidade de serviço mesmo em condições rígidas de QoS. Enquanto que no cenário 2- prédio anexo de laboratórios teríamos mais de 50% de cobertura devido a extensão do prédio ser menor que o do cenário 1.

Resumindo os resultados de ambos os cenários por técnica empregada e por estudo de caso, aqui descrito como restrições, a Tabela 5.9 representa a simplificação. A diferença percentual entre os métodos é aceitável e pode-se considerar que ambas as técnicas deram resultados esperados aproximados podendo ser utilizadas como uma opção no planejamento de redes sem fio.

Tabela 5.9 Resumo dos resultados por cenário, estudo de caso e técnica de otimização.

Estudo de Caso	Distância AG	Distância PSO	Diferença %
Estudo de caso 1 cenário 1	21.97 metros	23.43 metros	6,23%
Estudo de caso 2 cenário 1	16.66 metros	18.77 metros	11,21%
Estudo de caso 1 cenário 2	16.48 metros	18.67 metros	11,73%
Estudo de caso 2 cenário 2	14.08 metros	13.28 metros	5,68%

5.3 Considerações Finais

Neste capítulo, foi descrita uma estratégia metodológica utilizada para planejamento de redes de sem fio sobre influência de interferência e outros fenômenos da camada física nas camadas superiores. Essa avaliação baseada na abordagem *cross-layer* considerou aspectos de camadas mais altas e da camada física estabelecendo correlação entre elas. Estudos de caso foram apresentados de modo a apresentar e validar a metodologia.

Foi também apresentada uma alteração no processo de KDD onde o método de aferição foi usado para gerar os dados que serão posteriormente tratados em outras etapas da metodologia. Outra estratégia apresentada foi a de agregação de duas metodologias aferição e simulação para a construção do modelo. Outra estratégia proposta trata-se do qualificador de rede onde pode-se verificar qual métrica teria maior impacto no desempenho dos dois cenários explorados. Em tempo, a ferramenta de visualização de dados probabilísticos usada para observar o comportamento das métricas em um ambiente graficamente também foi uma contribuição original.

Foram também apresentadas duas propostas de otimização através de uma abordagem híbrida entre redes Bayesianas e algoritmos genéticos e enxame de partículas. Além de possibilitar a quantificação do relacionamento causal entre as variáveis, por meio da descoberta dos valores que compõem uma combinação ótima, de modo a obter uma determinada meta, por exemplo, de maior distância aceitável para o satisfatório funcionamento de uma determinada aplicação.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

6.1 Considerações Iniciais.

Esta tese apresentou uma estratégia para planejar capacidade de redes sem fio determinando o quanto a interferência de uma dada rede pode afetar os parâmetros de QoS de outra rede, considerando aspectos *cross-layer* entre as métricas coletadas. Esta metodologia foi apresentada no capítulo 5 e, além disso, foi validada com o estudo de caso também apresentado no capítulo anterior.

As hipóteses levantadas no capítulo 1 foram investigadas e outras importantes contribuições foram encontradas e resumidas no decorrer no trabalho descritas na próxima seção 6.2. Assim, as redes Bayesianas resolveram, correlacionaram, diagnosticaram e quantificaram o efeito da interferência em redes sem fio e trabalhos foram publicados nos artigos (ARAUJO et al., 2007), (ARAUJO et al., 2008a) e capítulo de livro publicado em (ARAUJO et al., 2010a). A técnica de aferição utilizada em dois ambientes demonstrou que a uma distância de 100 metros não é possível fazer associação ao AP devido aos inúmeros obstáculos em ambientes *indoor*. Os métodos de otimização usados para determinar uma posição ótima do PA, levando em consideração uma abordagem híbrida e *cross-layer* foi validada e publicada em (ARAUJO et al., 2008b). O item de otimização abordando o enxame de partículas foi publicado no artigo (RODRIGUES et al., 2011). A estratégia considerando abordagem *cross-layer* e a metodologia de caracterização de tráfego usando o fator de qualificador de rede consta do artigo submetido à revista *European Transactions on Telecommunications* (ARAUJO et al., 2010b).

6.2 – Principais Contribuições Realizadas

Desta forma, são entendidas como principais contribuições científicas desta tese as seguintes:

- Elaboração de estratégia para planejamento e avaliação de desempenho de redes sem fio, a partir da junção de abordagens de aferição e de modelagem, adicionando-se ainda aspectos de otimização.

- Aglutinação de técnicas de inteligência computacional, avaliação de desempenho e otimização, voltadas às redes que se constituem no estado da arte em telecomunicações.
- Elaboração de uma estratégia de planejamento que pode ser aplicada em projetos de engenharia do mundo real, dada a vasta utilização que as redes sem fio possuem atualmente.
- Avaliação baseada em abordagem “*cross-layer*” de tecnologia sem fio considerando aspectos de qualidade de serviço das camadas de aplicação e física estabelecendo de maneira clara o correlacionamento entre elas. Esta abordagem constitui o estado da arte de planejamento de capacidade e avaliação de desempenho.

Outras contribuições:

- Projeto e implementação de *testbeds* para realização de testes, considerando parâmetros estabelecidos em normas, tidos como de relevantes para o estudo de redes sem fio;
- Elaboração de programas computacionais para resolver modelos de otimização (PSO e AG) e de inteligência computacional (AG, Redes Bayesianas e Redes Neurais) necessários à realização das análises pretendidas;
- Elaboração de *scripts* de simulação, tanto em linguagens de programação quanto em ferramentas específicas (e.g. MatLab®), necessários às análises pretendidas nos estudos desta tese;
- Divulgação dos estudos realizados neste trabalho, junto às comunidades nacional e internacional, por meio da publicação de artigos em congressos, capítulos de livros e periódicos, o que corrobora a importância e contribuições das investigações realizadas. No Anexo A, são apresentadas as publicações realizadas no decorrer do desenvolvimento da tese.
- Elaboração do documento de tese para disponibilização acadêmica dos modelos e técnicas desenvolvidos e dos resultados alcançados.

6.3 - Dificuldades Encontradas

Cabe ressaltar, que ao longo do desenvolvimento da tese, foram encontradas dificuldades para a consecução do trabalho, as quais serão apresentadas aqui, com o objetivo de orientar pesquisadores e estudantes que venham a utilizar os conhecimentos disponíveis neste trabalho.

As dificuldades encontradas foram decorrentes de diversos fatores, dentre os quais se destacam:

- Como pôde ser observada na literatura, uma das grandes dificuldades encontradas na execução de processo de Mineração de Dados está relacionada à identificação das fontes e o pré-processamento dos dados. Neste trabalho se deparou com tal dificuldade, já que as bases de dados utilizadas não existiam, havendo a necessidade de implementações de *testbeds* e utilização de aplicações reais;
- Compreensão do formalismo matemático próprio dos métodos que fundamentam as técnicas empregadas em Mineração de Dados;
- A multidisciplinaridade da pesquisa em diversas áreas da engenharia e computação (avaliação de desempenho, IA e redes de computadores);
- A necessidade de implementação de programas computacionais e *scripts* de simulação, em diferentes linguagens e ferramentas, para viabilizar a análise pretendida.

É importante ressaltar que os obstáculos encontrados não estão limitados ao estudo das técnicas matemáticas, mas também, particularmente, na implementação dos *testbeds* e dos modelos computacionais.

6.4 - Trabalhos Futuros

Estima-se a ampliação e complementação da metodologia apresentada neste trabalho por meio das seguintes ações:

- Um único sistema para automatizar a metodologia e implementar outros métodos de otimização para a escolha do tomador de decisão;
- Realização de novos estudos e testes de desempenho em outras redes sem fio, uma vez que a metodologia é abrangente e pode ser generalizada;

- Realização de novos estudos e testes de desempenho em outras técnicas de MD (e.g. lógica *fuzzy*, redes neurais artificiais) e técnicas de otimização (e.g. processo semi-Markoviano de decisão, aprendizado por reforço);
- Aplicação de novas medidas de desempenho, principalmente para vídeo, com a incorporação de testes com ferramentas específicas tais como o Evalvid (LIE; KLAUE, 2007), que permitem a obtenção de parâmetros de qualidade tais como perda de *frames*, níveis de MOS de vídeo, PSNR (*Peak Signal Noise Ratio*), entre outros.
- Automatizar a metodologia e implementar outros métodos de otimização para a escolha do tomador de decisão conforme os resultados do item 2.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACO, **The Ant Colony Optimization Tutorial**. Disponível em <http://iridia.ulb.ac.be/~mdorigo/ACO/ACO.html>, acessado em 02/05/2011, (2011).
- ALEXANDER, T. **Optimizing and Testing WLANs Proven Techniques for Maximum Performance**. Elsevier (2007).
- AMALDI, E., CAPONE, A., CESANA, M., MALUCELLI, F. **Optimizing WLAN Radio Coverage**, IEEE International Conference on Communications, (1): 180-184, (2004a).
- AMALDI, E., CAPONE, A., CESANA, M., MALUCELLI, E., PALAZZO, E. **WLAN Coverage Planning: Optimization Models and Algorithms**, IEEE 59th Vehicular Technology Conference, VTC, (4): 2219-2223, (2004b).
- ARAUJO, J., RODRIGUES, J.C., FRAIHA, S. G. C., GOMES, H. S., CAVALCANTE, G. P. S., FRANCÊS, C.R.L., **A methodology for capacity planning and performance evaluation of wireless networks based on measuring and Bayesian inference: A Brazilian amazon approach**. Proceedings of the Third International Conference on Communications and Networking in China, (1): 1363-1366, (2008a).
- ARAUJO, J., RODRIGUES, J.C., FRAIHA, S. G. C., GOMES, H. S., CAVALCANTE, G. P. S., FRANCÊS, C.R.L., **New strategies for planning and performance evaluation of wireless networks: case studies based on cross-layer**. European Transactions on Telecommunications. John Wiley and Sons, (2010b).
- ARAUJO, J., RODRIGUES, J.C., FRAIHA, S. G. C., GOMES, H. S., SALES JUNIOR, C., COSTA, J.C.W., CAVALCANTE, G.P.S., FRANCÊS, C.R.L., **A WLAN planning proposal through computational intelligence and genetic algorithms hybrid approach**. Proceedings of the International Conference on Mobile Technology, Applications, and Systems, (2008b).
- ARAUJO, J., RODRIGUES, J.C., FRAIHA, S.G.C., LAMARÃO, F.M., VIJAYKUMAR, N. L., CAVALCANTE, G.P.S., FRANCÊS, C.R.L., **The Influence of Interference Networks in QoS Parameters in a WLAN 802.11g Environment**. Lecture Notes in Computer Science, (4742): 932-945, (2007).
- ARAUJO, J., RODRIGUES, J.C., FRAIHA, S.G.C.; GOMES, H. S., CAVALCANTE, G.P.S., FRANCÊS, C.R.L., **Strategy for Wireless Local Area Networks Planning and Performance Evaluation through Bayesian Networks as Computational Intelligence Approach**. Bayesian Networks. SCIYO Publishing, (1): 279-292, (2010a).
- BAYESWARE, D., Disponível em <http://www.bayesware.com/>, acesso em 02/05/2011, (2011).
- BANDA LARGA. Disponível em http://www.telebrasil.org.br/pnbl_sinditelebrasil_teleco_situacao_banda_larga_no_brasil.pdf, acesso em 02/05/2011, (2011).
- BEASLEY, D., BULL, D. R., MARTIN, R.R. **An overview of Genetic Algorithms: part 1, fundamentals**. University Computing, 15(2): 58-69, (1993).
- CGI, Disponível em <http://www.cetic.br/empresas/index.htm>, acesso em 01/05/2011, (2011).
- CHEN, Z., **Data Mining and Uncertain Reasoning - an Integrated Approach**, John Wiley Professional (2001).
- CHENG, J., BELL, D. A., LIU, W. **Learning Belief Networks From Data: An Information Theory Based Approach**, Proceedings of the sixth international conference on Information and knowledge management, (1): 325-331, (1997).

CONCEIÇÃO, A.F., **Voz e Vídeo sobre Redes sem Fio IEEE 802.11**, Tese de Doutorado, Instituto de Matemática e Estatística da Universidade de São Paulo, 2006.

COOPER, G., HERSKOVITZ, E. **A Bayesian method for the induction of probabilistic networks from data.** *Machine Learning*, (9): 309–347, (1992).

COTANIS, I., **Speaker bias in speech quality evaluation over end-to end communication links**, *Wireless Communications and Networking* (2): 1107-1111, (2003).

DAWID, P. **Statistical theory – the frequential approach.** *Journal of the Royal Statistical Society.* (147): 178-292 (1984).

DÍAZ, L.E.N., DÍAZ, J.A.P. **A Model for Designing WLAN's 802.11 for VoIP**, *Proceedings of the IEEE Computer Society of the Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference (CERMA)*, (2): 110-115, (2006).

EISENBLÄTTER, A., GEERDES, H.F., GROSS, J., PUÑAL, O., SCHWEIGER, J. **A Two-Stage Approach to WLAN Planning: Detailed Performance Evaluation Along the Pareto Frontier.** *Proceedings of the 8th International Symposium on Modeling and Optimization in Mobile, Ad Hoc and Wireless Networks (WiOpt)*, (1): 227-236, (2010).

ESHELMAN, L. J.; CARUANA, R. A., SCHAFFER, J. D. **Biases In The Crossover Landscape.** *Proceedings of the Third International Conference on Genetic Algorithms*, Morgan Kaufmann (1): 1009, (1989)

FAYYAD, U. **Data Mining and Knowledge Discovery: making sense out of data.** *IEEE Expert*, 11(5): 20-25 (1996).

FAYYAD, U., PIATESKY-SHAPIRO, G., SMYTH, P., UTHURUSAMY, R., **Advances in Knowledge Discovery and Data Mining**, AAAI Press, 1996.

GARROPPO, R., GIORDANO, S., LUCETTI, S., RUSSO, F. **IEEE 802.11b Performance Evaluation: Convergence of Theoretical, Simulation and Experimental Results**, *11th International Telecommunications Network Strategy and Planning Symposium*, (1): 405-410, (2004).

GIBNEY, A.M., KLEPAL, M. **Tool for automatic design and Optimisation of Large Scale WLAN**, *The 7th IFIP International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks*, (2005).

GIBNEY, A.M., KLEPAL, M., PESCH, D. **User Demand based WLAN Design and Optimisation**, *IEEE 65th Vehicular Technology Conference, VTC*, (1): 1101-1105, (2007).

GLISIC, S.G. **Advanced Wireless Networks 4G Technologies**, John Wiley and Sons, (2006).

GOLDBERG, D.E. **Genetic Algorithms in search, optimization and machine learning.** Addison-Wesley (1989).

GOLDSCHMIDT R., PASSOS E. **Data Mining: um guia prático.** Editora Campus, Rio de Janeiro: Elsevier, (2005).

GREFENSTETTE, J. **Optimization of control parameters for genetic algorithms.** *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics.* 16 (1): 122028, (1986).

HECKERMAN, D. **Bayesian networks for Data Mining.** *Data Mining and Knowledge Discovery*, Kluwer Academic Publishers, (1): 79-119, (1997).

HOLLAND, J. H. **Adaptation in Natural and Artificial Systems.** University of Michigan Press: Ann Arbor, MI, (1975).

HUANG, H., SONG, H., TIAN, F., LU, Y., WANG, Q. **A comparatively research in incremental learning of Bayesian networks**, Intelligent Control and Automation. Fifth World Congress on, Volume 5, 4260-4264 (2004).

IEEE 802.11, Disponível em <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2007.pdf> (2007)

IPERF, Disponível em <http://www.noc.ucf.edu/Tools/Iperf/>, acesso em 02/05/2011, (2011).

JAFFRÉS-RUNSER, K., GORCE, J.M., UBÉDA, S. **Mono- and multiobjective formulations for the indoor wireless LAN planning problem**, Computers and Operations Research, (2007).

KAPPES, M., KRISHNAKUMAR, A.S., KRISHNAN, P. **Estimating Signal Strength Coverage for a Wireless Access Point**, IEEE Global Telecommunications Conference, (5): 3264 – 3269, (2004).

KENNEDY, J., EBERHART, R.C. **Particle Swarm Optimization**. Proceedings of the IEEE International Conference on Neural Networks, (1):1942–1948, (1995).

KIM, J.; CHUNG, K. **C-Snoop: Cross Layer Approach to Improving TCP Performance over Wired and Wireless Networks**. In: IJCSNS International Journal of Computer Science and Network Security, V.7, N.3, March, (2007).

KLIAZOVICH, D., GRANELLI, F. **A Cross-layer Scheme for TCP Performance Improvement in Wireless LANs**, IEEE Global Telecommunications Conference, GLOBECOM, (2): 840-844, (2004).

KORB, K.B., NICHOLSON, A.E., **Bayesian Artificial Intelligence**, CRC PRESS, (2004).

KOUHBOR, S., UGON, J., KRUGER, A., RUBINOV, A., BRANCH, P. **A New Algorithm for the Placement of WLAN Access Points Based on Nonsmooth Optimization Technique**, The 7th International Conference on Advanced Communication Technology, ICACT, (1): 352-357, (2005).

KURIEN, A.M., VAN WYK, B.J., SNYMAN, L.W. **An Environment-Based Network Planning Tool**, IEEE 12th International Symposium on Electron Devices for Microwave and Optoelectronic Applications, (1): 96-101, (2004).

KUROSE, J. F., ROSS, K. W. **Redes de Computadores e a Internet - Uma abordagem top-down**. Addison Wesley. 3ª Edição. (2006).

LAM, W., BACCHUS, F. **Learning Bayesian Belief Networks: An Approach Based On The MDL Principle**. Computational Intelligence, 10(4): 269–293, (1994).

LIE A., KLAUE J., **Evalvid-RA: Trace Driven Simulation of Rate Adaptive MPEG-4 VBR Video**, Multimedia Systems, Volume 14, Number 1, 13. November, (2007).

LOPES, R.M.J., **Modelos e Planejamento para Redes Locais de Acesso Via Rádio**, Tese de doutorado, Instituto Politécnico de Lisboa – Instituto Superior de Engenharia de Lisboa, (2004).

LU, J.L., JAFFRÉS-RUNSER, K., GORCE, J.M., VALOIS, F. **Indoor WLAN Planning with a QoS constraint based on a Markovian Performance Evaluation Model**, IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, WiMob, (1): 152-158, (2006).

LU, J.L., VALOIS, F. **Performance evaluation of 802.11 WLAN in a real indoor environment**, IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, WiMob, (1): 140-147, (2006).

MANNILA, H., **Data Mining: Machine Learning, Statistic and Databases**, Department of Computer Science, University of Helsinki, (1997).

MARTINEZ, I., ALTUNA, J. **A Cross-Layer Design for AD HOC Wireless Networks with Smart Antennas and QoS Support**, 15th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, (1): 589-593, (2004).

MATLAB. **Matlab version 7.0**. In Technical Documentation, (2011).

MEASURING. **Measuring the Information Society**. Disponível em http://www.itu.int/ITU-D/ict/publications/idi/2010/Material/MIS_2010_without_annex_4-e.pdf acesso em 02/05/2011, (2011).

MICHALEWICZ, Z. **Genetic algorithms + data structures = evolution programs**. AI Series. Springer-Verlag (1994).

NETWORK STUMBLER, Disponível em <http://www.netstumbler.com/> acesso em 02/05/2011, (2011).

OPENH323, **Open Nam**. Disponível em <http://openh323.sourceforge.com/>, acessado em 02/05/2011, (2011).

PAPAGIANNI C. A.; TSELIKAS N. D., KOSMATOS E. A.; PAPAPANAGIOTOU S., VENIERIS I. S. **Performance Evaluation Study For Qos-Aware Triple Play Services Over Entry-Level Xdsl Connections**, Journal of Network and Computer Applications, 32, 215-225, (2009).

PC MAGAZINE, Disponível em <http://www.pcmag.com/article2/0,2817,2375246,00.asp>, acessada em 01/05/2011, (2011).

PEARL, J., **Probabilistic Reasoning in Intelligent System**, Morgan Kaufmann Publishers (1988).

PRASAD, A.R., PRASAD, N.R., KAMERMAN, A., MOELARD, H., EIKELENBOOM A. **Indoor Wireless LANs Deployment**, IEEE 51st Vehicular Technology Conference Proceedings, VTC, (2): 1562-1566, (2000).

PSO, **Particle Swarm Optimization**. Disponível em <http://www.engr.iupui.edu/~shi/Coference/psopap4.html>, acessado em 02/05/2011, (2011).

RADCOM, **The State of Art**, Disponível em <http://www.radcom.com>, acessado em 02/05/2011, (2011)

RAMONI, M., SEBASTIANI, P. **Discovering Bayesian Networks In Incomplete Databases**. Knowledge Media Institute, The Open University, Kmi Technical Report, nº 46, (1997).

REYES-SIERRA, M., COELLO, C.A.C. **Multi-objective Particle Swarm Optimizers: A Survey of the State of the Art**. International Journal of Computational Intelligence Research, (2):287-308, (2006).

REZENDE, S. O. **Sistemas Inteligentes – Fundamentos e Aplicações**. Manole (2003).

ROCHE, G., REBEYROTTE, R., JAFFRÉS-RUNSER, K., GORCE, J.M. **A QoS-based FAP Criterion for Indoor 802.11 Wireless LAN Optimization**, IEEE International Conference on Communications, (12): 5676-5681, (2006).

RODRIGUES, J.C., ARAUJO, J., FRAIHA, S.G.C.; GOMES, H. S., CAVALCANTE, G.P.S., FRANCÊS, C.R.L., **A WLAN planning proposal through deductive probabilistic method and particle swarm algorithm hybrid approach**. European Conference on Antennas and Propagation, (2011).

RUSSEL, S., NORVIG, P. **Artificial Intelligence – a modern approach**, Prentice Hall. (2003).

SALZBERG, S. L. **On comparing classifiers: pitfalls to avoid and a recommended approach**. Data Mining and Knowledge Discovery, 1 (3): 317-328 (1997).

SANTANA, A. L. et al., **Strategies for improving the modeling and interpretability of Bayesian Networks**, Data Knowl. Eng. (2006).

SANTANA, A. L., FRANCÊS, C.R.L, COSTA, J.C.W. **Hybrid Strategies for improving Bayesian Networks: Applying Mathematical and Computational Intelligence Models to Optimize and Extend the Modelling and Applicability**, Lambert Academic Publishing (2011).

SCHILLER, J., **Mobile Communications**, Addison-Wesley, (2003).

SKYPE. Disponível em http://blogs.skype.com/en/2011/03/30_million_people_online.html, acesso em 02/05/2011.

SPIRITES, P.; GLYMOUR, C., SCHEINES, R. **Causation, Prediction, And Search**. MIT Press, (2001)

SYMEONIDIS, A. L., MITKAS, P. A., **Agent Intelligence Through Data Mining: Multiagent Systems, Artificial Societies, and Simulated Organizations**, Springer, (2006).

TOLEDO, A.L., VERCAUTEREN, T., WANG, X. **Adaptive Optimization of IEEE 802.11 DCF Based on Bayesian Estimation of the Number of Competing Terminals**, IEEE Transactions on Mobile Computing, (5): 1283-1296, (2006).

TR-126, **Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements**, DSL Forum, December, (2006).

TURBAN, E., ARONSON, J. E. **Decision Support Systems and Intelligent Systems**. Prentice-Hall (2001).

WERTZ, P., SAUTER, M., LANDSTORFER, F.M.; WÖLFLE, G., HOPPE, R. **Automatic Optimization Algorithms for the Planning of Wireless Local Area Networks**, IEEE 60th Vehicular Technology Conference, (4): 3010-3014, (2004).

Wi-Fi ALLIANCE, Disponível em <http://www.wi-fi.org/organization.php>, acessado em 01/05/2011, (2011).

YIN, J., WANG, X., AGRAWAL, D.P. **Modeling and optimization of wireless local area network**, Computer Communications, (28): 1204-1213, (2005).

ZAPATER, M. N., BRESSAN, G. **A Proposed Approach for Quality of Experience Assurance of IPTV**. In: First International Conference on the Digital Society, 1, 2007. Proceedings of IEEE. Guadeloupe, p. 25-30 (2007).

ZHAI, H., WANG, J., FANG, Y., **Providing Statistical QoS Guarantee for Voice over IP in the IEEE 802.11 Wireless LANs**, IEEE Wireless Communications, (13): 36-43, (2006).

APÊNDICE A

PUBLICAÇÃO CIENTÍFICA

Publicações obtidas a partir desta tese.

Artigos completos publicados em periódicos

1. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues ; Fraiha, S. G. C. ; Felipe M. Lamarão ; Nandamudi L. Vijaykumar ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Carlos R. L. Francês . The Influence of Interference Networks in QoS Parameters in a WLAN 802.11g Environment. Lecture Notes in Computer Science, v. 4742, p. 932-945, 2007.
2. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues Fraiha, S. G. C. ; GOMES, H. S. ; REIS, J. ; Nandamudi L. Vijaykumar ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Carlos R. L. Francês . The Influence of Interference Networks in QoS Parameters in a WLAN 802.11g: a Bayesian Approach. Proceedings of SPIE, v. 6776, p. 677604-01-677604-12, 2007.
3. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues, Fraiha, S. G. C. ; GOMES, H. S. ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Carlos R. L. Francês, New strategies for planning and performance evaluation of wireless networks: case studies based on cross-layer. EUROPEAN TRANSACTIONS ON TELECOMMUNICATIONS. John Wiley and Sons, 2010.

Capítulos de livros publicados

1. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues ; Fraiha, S. G. C ; GOMES, H. S. ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Carlos R. L. Francês . Strategy for Wireless Local Area Networks Planning and Performance Evaluation through Bayesian Networks as Computational Intelligence Approach.. In: Iva Lipovic, Alexander Lazinica. (Org.). Bayesian Networks. 1 ed. Viena: SCIO, 2010, v. 1, p. 279-292.

Trabalhos completos publicados em anais de congressos

1. Josiane C. Rodrigues Fraiha, S. G. C ; Araujo, Jasmine ; GOMES, H. S. ; Carlos R. L. Francês ; Gervásio P. S. Cavalcante . A WLAN PLANNING PROPOSAL THROUGH DEDUCTIVE PROBABILISTIC METHOD AND PARTICLE SWARM ALGORITHM HYBRID APPROACH. In European Conference on Antennas and Propagation 2011, 11-15 April , Rome,, 2011.
2. Josiane C. Rodrigues Fraiha, S. G. C ; Araujo, Jasmine ; GOMES, H. S. ; Carlos R. L. Francês ; Gervásio P. S. Cavalcante . Strategy for WLANs Performance Evaluation Based in Extended Measurement Data for Indoor Environments. In: 14º SBMO Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e o 9º CBMag Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, 2010, Vila Velha. Proceedings do 14º SBMO Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e o 9º CBMag Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo, 2010.
3. Josiane C. Rodrigues ; Fraiha, S. G. C; Araujo, Jasmine ; GOMES, H. S. ; Carlos R. L. Francês ; Gervásio P. S. Cavalcante . Empirical Study of the QoS Parameters Behavior of a VoIP Application in Wi-Fi Networks.. In: IMOC 2009 - International Microwave and Optoelectronics Conference, 2009, Belém. In: IMOC 2009 - International

Microwave and Optoelectronics Conference Proceedings, 2009.

4. Fraiha, S. G. C; Josiane C. Rodrigues ; Araujo, Jasmine ; GOMES, H. S. ; Francês, Renato ; Gervásio P. S. Cavalcante . Metodologia para Projeto de Redes Sem Fio Baseada em Medidas de Potência e QoS. In: MOMAG 2008 - 13 SBMO Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e o 8 CBMag Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo., 2008, Florianópolis. Anais do 13 SBMO Simpósio Brasileiro de Microondas e Optoeletrônica e o 8 CBMag Congresso Brasileiro de Eletromagnetismo., 2008.
5. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues Fraiha, S. G. C ; GOMES, H. S. ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Francês, Renato . A methodology for capacity planning and performance evaluation of wireless networks based on measuring and Bayesian inference: A Brazilian amazon approach. In: 2008 Third International Conference on Communications and Networking in China (CHINACOM), 2008, Hangzhou. CHINACOM 2008 Conference Proceedings, 2008. p. 1363-1366.
6. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues Fraiha, S. G. C ; Felipe M. Lamarão ; Nandamudi L. Vijaykumar ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Carlos R. L. Francês . The Influence of Interference Networks in QoS Parameters in a WLAN 802.11g Environment.. In: Fifth International Symposium on Parallel and Distributed Processing and Applications (ISPA-07), 2007, Niagara Falls. Proceedings of Fifth International Symposium on Parallel and Distributed Processing and Applications (ISPA-07), 2007. v. 4742. p. 932-945.
7. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues ; Fraiha, S. G. C ; GOMES, H. S. ; REIS, J. ; Nandamudi L. Vijaykumar ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Carlos R. L. Francês . The Influence of Interference Networks in QoS Parameters in a WLAN 802.11g: a Bayesian Approach.. In: SPIE - Broadband Access Communication Technologies II, 2007, Boston. Proceedings of SPIE Symposium on Optics East 2007, 2007. v. 6776. p. 677604-01-677604-12.
8. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues; Fraiha, S. G. C ; Felipe M. Lamarão ; Nandamudi L. Vijaykumar ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Carlos R. L. Francês . The Planning Approach for Interference Networks in QoS Parameters in a WLAN 802.11g. In: 2007 International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems, 2007, San Diego. Proceedings of the International Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems. San Diego : Society for Modeling and Simulation International, 2007. p. 419-428.

Resumos expandidos publicados em anais de congressos

1. COQUEIRO, E.M. ; CORDEIRO, J. S. ; SOUZA, R. L. S. ; RODRIGUES, J. C. ; GUEDES JUNIOR, O. ; Araujo, Jasmine ; Fraiha, S. G. C; GOMES, H. S. ; Carlos R. L. Francês ; Gervásio P. S. Cavalcante . Análise de Cobertura Outdoor de uma Cidade Digital do Programa NavegaPará.. In: XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2008, Rio de Janeiro. Anais do XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, 2008.
2. Araujo, Jasmine ; Josiane C. Rodrigues Fraiha, S. G. C ; GOMES, H. S. ; SALES JUNIOR, C. ; João W. Costa ; Gervásio P. S. Cavalcante ; Francês, Renato . A WLAN planning proposal through computational intelligence and genetic algorithms hybrid approach. In: International Conference On Mobile Technology, Applications, And Systems, 2008, Yilan. Proceedings of the International Conference on Mobile Technology, Applications, and Systems, 2008.