

Um estudo de QoS para predição da perda de pacotes em redes sem fio a partir do nível de sinal

Marco Antônio Leite de Araújo¹, Claudio de Castro Monteiro²

marcoantonio_si@hotmail.com¹, ccm@ifto.edu.br²

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins, Brasil
Caixa Postal: 77021-090
Palmas - Brasil

Resumo: Este artigo busca uma equação que possa fazer a predição das perdas de pacotes a partir do nível de sinal para propor uma solução de seleção de redes que atenda principalmente as aplicações que necessitam de QoS (Quality of Service) para o parâmetro perda de pacotes. O estudo utiliza cálculos estatísticos, como desvio padrão e intervalo de confiança, e estipula um nível de confiança de 95% para determinar as amostras. Inicialmente desenvolve um software para automatizar a coleta dos dados, realiza uma coleta de 500 requisições (icmp/rssi) em rede wlan, consolida esses dados através do método estatístico da distribuição normal, e obtém o resultado para a próxima coleta. Posteriormente realiza três iterações a fim de determinar a quantidade ideal de novas iterações. Finalmente realiza a última coleta de acordo com as amostras encontradas anteriormente para encontrar a média dos parâmetros de rede coletados. Com todos os dados reunidos, aplica modelos estatísticos de regressão para buscar a melhor equação que atenda o objetivo do estudo: a predição das perdas a partir do nível de sinal.

Palavras Chave: handover, QoS, seleção de redes, wi-fi.

Abstract: This paper aims to make an equation which can predict the loss packet from the signal strength to propose a solution that meets selection of networks especially applications that require QoS (Quality of Service) for the parameter lost packets. The study uses statistical calculations such as standard deviation and interval confidence, and provides a level of confidence of 95% to determine the specimens. At first, develops a software program to automate data collection, performs a collection of 500 requests (icmp / RSSI) wlan network, consolidates these data using the statistical normal distribution, and gets the result for the next collection. Later, performs three iterations to determine the optimal amount of new iterations. Finally, performs the last gathering according to the samples previously found to find the average network parameters collected. With all the gathered data, apply statistical regression models to find the best equation that meets the objective of the study: the prediction of losses from the level of the signal.

Keywords: handover, QoS, selection networks, wi-fi.

1. Introdução

A mobilidade tecnológica hoje em dia é fundamental em nosso cotidiano e cada vez mais exigida pelos usuários. Há continuamente um crescimento explosivo no tráfego de informações, reflexo do surgimento de várias tecnologias (wi-fi, 3G, Bluetooth) e dispositivos (iPad, Iphone, netbook, laptops), que impulsionam a troca de informações a todo instante e em todo lugar.

Atualmente, esses dispositivos tecnológicos são oferecidos a preços mais acessíveis e com maior variedade de recursos. Um smartphone pode possuir conexão 3G, wi-fi, Bluetooth e tráfegar dados, voz e vídeo. Pode também possuir apenas wi-fi, mas ter mais de uma rede para conectar-se. Surge então a questão, qual é a melhor rede? Como permitir ao usuário estar sempre mais bem conectado?

A seleção de redes parece ser a resposta para estas questões, pois segundo [RIOS 2012], visa disponibilizar ao usuário móvel o ponto de acesso com as melhores condições de tráfego, permitindo que sua aplicação, seja de voz, dados ou vídeo, possa ser transmitida com a qualidade necessária da origem ao destino.

Porém apesar de já existirem várias técnicas como lógica fuzzy, algoritmos genéticos, ou mesmo baseadas em parâmetros de rede como banda, custo e perda de pacotes,

a técnica de seleção de redes mais utilizada ainda é a baseada em nível de sinal.

A técnica de selecionar uma rede baseada apenas neste parâmetro pode não ser eficaz em determinados momentos, pois nem sempre um tipo específico de tráfego necessita apenas de um bom nível de sinal, pode, por exemplo, precisar mais de uma baixa taxa de perda. Entretanto o nível de sinal, por ter um baixo custo computacional e já ser utilizado como parâmetro de seleção de redes na maioria dos dispositivos, pode ser uma boa solução para predizer demais parâmetros de rede.

Por tanto o objetivo deste trabalho é melhorar as características de QoS oferecidas as dispositivos móveis, proporcionando uma solução para a seleção de redes, através do tratamento estatístico, relacionando perda e rssi.

O artigo está organizado da seguinte maneira: na seção 2 é apresentado trabalho relacionado. Na seção 3 é apresentada a proposta do estudo. Na seção 4 é determinado onde e como serão os processamentos, são apresentados os materiais e métodos utilizados para realização do estudo, como, equipamentos e estudos estatísticos sobre os dados coletados. Na seção 5 são apresentados os resultados do estudo e modelos de predição de QoS da rede a partir das variáveis estudadas.

Na seção 6 estão as considerações finais e propostas de trabalhos futuros.

2. Trabalho relacionado

[RIOS 2012] explica que a seleção de redes, parte integrante e principal do gerenciamento do handover, é dividida em três blocos lógicos funcionais, que são: a coleta de dados; o processamento dos dados; e a classificação das redes de acesso. Em geral as estratégias de parâmetros de rede impactam diretamente na seleção de rede e podem ser divididos nas seguintes categorias:

Categoria 1 – inclui parâmetros que não são relacionados à qualidade de serviços, visto que não mudam frequentemente, como custo monetário, criptografia, etc;

Categoria 2 – inclui parâmetros de qualidade de serviços muitos utilizados, dinâmicos ou não, previstos na rede, como: jitter, delay, perda de pacote, vazão etc.

Os parâmetros rssi e perda de pacotes são abordados neste estudo, pois são parâmetros de qualidade fundamentais para garantir o bom funcionamento de alguns tipos de aplicações.

A escolha da melhor rede de acesso tem caracterizado a fase de seleção de rede dentro do gerenciamento de handover como um grande obstáculo a ser superado, visto que irá afetar diretamente alguns aspectos inerentes à QoS do ponto de acesso selecionado, para dar as melhores condições de conexão às transmissões do usuário.

Este fato é bastante relevante e motivou este estudo, pois uma rede selecionada como ótima em um dado instante pode não ter seus recursos disponíveis e alocados para um novo dispositivo ou mesmo em outro instante para um mesmo móvel. Portanto, é uma fase muito importante no processo de gerenciamento de handover, pois visa identificar para o dispositivo móvel, mediante critérios, regras e políticas previamente estabelecidas, a melhor rede de acesso no ambiente.

Com o objetivo de classificar e priorizar a melhor rede, entre as disponíveis no ambiente, [RIOS 2012] propõe a utilização do conjunto lógica fuzzy, AHP (Analytic Hierarchy Process) e GRA (Grey Relation Analysis) para a composição de uma arquitetura de seleção de redes em ambientes de rede sem fio heterogêneas. Ele apresenta três propostas em seu estudo: a primeira se baseando somente na técnica de lógica fuzzy; a segunda se baseando na combinação da técnica de lógica fuzzy com dois métodos de tomada de decisão, AHP e GRA; e a terceira se baseando somente nos métodos AHP e GRA.

Em todas as propostas o autor utilizou a mesma arquitetura (figura 1) automatizada, sendo o coletor comum em todas, diferenciando-se do processador e do decisor, que são distintos.

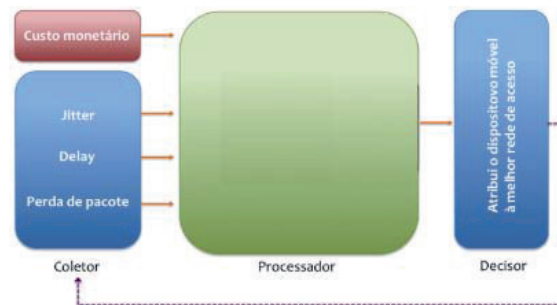


Figura 1 - Arquitetura das propostas de seleção de redes [RIOS 2012].

O autor realiza experimentos em cenários diferentes visando demonstrar a eficácia das propostas. Tais experimentos são feitos com e sem mobilidade, usando tecnologias wi-fi e 3G. No experimento com mobilidade são realizadas 420 iterações de coleta das variáveis de rede (delay, jitter e perda de pacote) em três ambientes diferentes: sem tráfego corrente; com tráfego corrente moderado; e com tráfego corrente muito elevado. Já no experimento com mobilidade, foi considerado um conjunto de 358 iterações de coleta das mesmas variáveis durante 50 movimentações feitas do ponto de acesso até a borda e vice-versa. Em todos foi observada a quantidade de vezes em que uma determinada rede foi selecionada por cada uma das propostas.

Todos os resultados do trabalho realizado por [RIOS 2012] foram apresentados e posteriormente comentados através de tabelas e gráficos. São exibidos resultados expressivos de como a combinação de técnicas de tomada de decisão se mostra eficaz na seleção da melhor rede de acesso. A combinação da técnica de lógica fuzzy com os métodos GRA e AHP ou somente estes últimos, promove, em quase todos os cenários uma escolha extremamente eficiente.

Assim como [RIOS 2012] este estudo tem o objetivo de auxiliar na classificação e priorização da melhor rede, entre as disponíveis em um ambiente, através da junção de técnicas e recursos já existentes, porém [RIOS 2012] utiliza as técnicas de lógica fuzzy e métodos de tomada de decisão AHP e GRA, já este trabalho utiliza de cálculos estatísticos e duas variáveis de rede em uma única técnica, que é a predição das perdas a partir do nível de sinal.

A partir desse estudo, outras variáveis podem ser analisadas utilizando este método, e os resultados podem ser combinados a fim de encontrar uma melhor solução para a seleção de redes.

3. Proposta

Segundo [SANTANA 2013], a qualidade de serviço (QoS) nas redes IP (Internet Protocol) é um aspecto operacional fundamental para o desempenho fim-a-fim das novas aplicações. Assim, é importante o entendimento dos seus princípios, parâmetros, mecanismos, algoritmos e protocolos desenvolvidos e utilizados para a obtenção de uma QoS.

Neste sentido, o parâmetro perda de pacotes em redes IP é um problema sério para determinadas aplicações, como a

voz sobre IP. Neste caso específico, a perda de pacotes com trechos de voz digitalizada implica numa perda de qualidade eventualmente não aceitável para a aplicação.

Como a preocupação é normalmente no sentido de especificar e garantir limites razoáveis (taxas de perdas) que permitam uma operação adequada da aplicação, este estudo tem como objetivo oferecer uma solução para a seleção de redes, sobretudo para aplicações que necessitam de uma baixa taxa de perda. O trabalho busca encontrar uma equação confiável através do estudo estatístico da regressão, que possa prever a taxa de perdas de pacotes através da coleta do nível de sinal. Ou seja, através do rssi, que tem baixo custo computacional, poderemos estimar as perdas e tomar a melhor decisão na hora de selecionar a rede que necessite de um limite de perdas aceitável.

Atualmente são poucas as soluções quando se fala em seleção de redes. A indústria, por exemplo, ainda utilizam em sua maioria, algoritmos de seleção baseados em nível de sinal, que são pouco eficientes, pois as aplicações atuais necessitam da garantia de qualidade serviço de outros parâmetros, como a perda de pacotes, que é abordado neste estudo.

4. Metodologia

Todo o estudo foi realizado no IFTO – Palmas (Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Tocantins). No local, foram definidos aleatoriamente dez pontos de coletas, tendo o primeiro ponto a distancia de cinco metros do AP (access point) e os demais pontos a mesma medida entre eles, alcançando uma distancia máxima de 50 metros do emissor do sinal. Conforme podemos perceber na figura 2, o distanciamento do AP foi feito seguindo uma linha reta.



Figura 2 – Localização do AP e pontos de coletas.

Os equipamentos usados foram um netbook modelo ASUS EEE PC 1001PX, e um notebook modelo SIM+ 4085, sendo que, o netbook fez o papel de estação emissora do sinal de rede sem fio, e o notebook o papel de receptor. A controladora de rede sem fio, presentes no netbook é de modelo Atheros AR9285 WIRELESS NETWORK e do notebook e de modelo Realtek RTL8188CE Wireless LAN. Todos os testes foram realizados, exclusivamente, com estes equipamentos. O sistema operacional utilizado foi o Linux Ubuntu versão 11.04. O padrão de rede utilizado foi o wi-fi.802.11 g.

Neste estudo foi desenvolvido um software em shell script, que consiste em efetuar a coleta do nível de sinal e dos pacotes icmp. Devido ao grande numero de

informações coletadas, esta ferramenta foi fundamental para que fosse possível realizar este estudo. O software é de baixa complexidade e basicamente efetua a coleta dos pacotes icmp através do comando ping e o nível de sinal através do comando iwconfig. Ele ainda armazena as informações em arquivos distintos *.txt.

É necessário inicialmente informar quantas iterações e quantas requisições icmp devem ser realizadas por iteração, a partir daí dois arquivos são gerados, sendo o primeiro o icmp e logo em seguida o rssi. A figura 3 ilustra o formato dos arquivos gerados.

```

grades-2012-12-04-19h33m0.txt  RSSI-2012-12-04-19h33m0.txt
1 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=1 ttl=64 time=5.56 ms  151
2 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=2 ttl=64 time=1.25 ms  251
3 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=3 ttl=64 time=1.08 ms  351
4 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=4 ttl=64 time=1.03 ms  451
5 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=5 ttl=64 time=1.28 ms  551
6 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=6 ttl=64 time=1.04 ms  651
7 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=7 ttl=64 time=1.02 ms  751
8 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=8 ttl=64 time=1.05 ms  851
9 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=9 ttl=64 time=1.01 ms  951
10 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=10 ttl=64 time=1.02 ms  1051
11 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=11 ttl=64 time=1.02 ms  1151
12 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=12 ttl=64 time=1.05 ms  1251
13 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=13 ttl=64 time=1.02 ms  1351
14 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=14 ttl=64 time=1.02 ms  1451
15 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=15 ttl=64 time=1.07 ms  1551
16 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=16 ttl=64 time=2.48 ms  1651
17 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=17 ttl=64 time=2.26 ms  1751
18 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=18 ttl=64 time=1.05 ms  1851
19 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=19 ttl=64 time=1.05 ms  1951
20 64 bytes from 10.10.20.1: icmp_req=20 ttl=64 time=1.59 ms  2051
    
```

Figura 3 – Amostra de parte de uma coleta (icmp e rssi).

Todo o processo começou com a definição aleatória dos pontos e da quantidade de coletas que seriam efetuadas para gerar a pré-amostra. Foi efetuada então uma coleta de quinhentas requisições icmp e medições rssi. Com os dados obtidos, foi efetuado o calculo estatístico utilizando o método de distribuição normal, que segundo, [FREUND 2004], entre as muitas distribuições que analisam dados contínuos, é a mais importante. Este método apresentou que o tamanho amostral da próxima coleta deveria ser de aproximadamente 4491 requisições, pois este foi o maior resultado encontrado dentre as variáveis e os pontos analisados.

Tabela 1 – Tabela de resultados estatísticos da pré-amostra da quantidade de requisições.

Distância do AP		Desvio Padrão	Amostra 95%
5m	rssi	1,50	1347,58
	perda	0,00	0,00
10m	rssi	2,44	3564,45
	perda	0,00	0,00
15m	rssi	2,74	4491,08
	perda	0,10	52,27
20m	rssi	1,86	2084,48
	perda	0,11	62,60
25m	rssi	1,07	682,80
	perda	0,16	133,72
30m	rssi	0,66	264,68
	perda	0,14	103,49
35m	rssi	0,28	48,27
	perda	0,09	41,09
40m	rssi	1,03	637,48
	perda	0,34	620,45
45m	rssi	0,66	260,75
	perda	0,00	0,00
50m	rssi	0,49	147,07
	perda	0,00	0,00

Após ter definido a amostra, foi efetuada uma nova coleta com 4500 requisições (icmp e rssi) nos dez pontos definidos anteriormente, mas dessa vez este processo foi repetido três vezes em cada ponto. Os dados coletados foram novamente analisados estatisticamente e o resultado obtido foi que o processo deveria ser repetido novamente, 48 vezes aproximadamente. A tabela 2 ilustra esta informação.

Tabela 2 - Tabela de resultados estatísticos da pré-amostra da quantidade de iterações.

Distância do AP		Desvio Padrão	Amostra 95%
5m	rssi	0,0727	3,1761
	perda	0,0002	0,0003
10m	rssi	0,0904	4,9105
	perda	0,0001	0,0001
15m	rssi	0,0564	1,9125
	perda	0,0002	0,0003
20m	rssi	0,1597	15,2999
	perda	0,0004	0,0007
25m	rssi	0,1585	15,086
	perda	0,0028	0,0424
30m	rssi	0,2057	25,4002
	perda	0,0018	0,0167
35m	rssi	0,0618	2,2892
	perda	0,0016	0,0139
40m	rssi	0,24	34,5648
	perda	0,0005	0,0011
45m	rssi	0,276	45,7304
	perda	0,0001	0,0001
50m	rssi	0,2785	46,5592
	perda	0,0739	28,8116

5. Resultados

[ARANDA et. all. 2008] diz que a análise de regressão é uma metodologia estatística que utiliza a relação entre duas ou mais variáveis quantitativas (ou qualitativas) de tal forma que uma variável pode ser predita a partir da outra ou outras.

Por tanto, descoberto o número ideal de iterações e requisições que deveriam ser realizadas. A última coleta foi então efetuada a fim de obter o resultado final, que são as médias das variáveis perdas e rssi em cada ponto estabelecido. Nesta coleta foram efetuadas 48 iterações com 4500 requisições.

Tabela 3 – Tabela final das médias, resultado das coletas das requisições e iterações anteriormente calculadas.

Distância do AP		Média
5m	rssi	56,42
	perda	140,88
10m	rssi	55,26
	perda	2,15
15m	rssi	56,47
	perda	22,48
20m	rssi	52,79
	perda	170,21
25m	rssi	51,11
	perda	515,25

30m	rssi	50,09
	perda	366,96
35m	rssi	51,24
	perda	668,60
40m	rssi	50,16
	perda	5,40
45m	rssi	49,68
	perda	8,17
50m	rssi	49,51
	perda	152,25

Com o resultado das médias em mãos (Tabela 3), a técnica de regressão linear simples foi utilizada para buscar um modelo de predição, através do calculo do coeficiente de determinação R².

O coeficiente de determinação (R²) é dado como uma medida de qualidade do modelo em relação à sua capacidade de estimar corretamente os valores da variável dependente Y [COSTA et. all, 2012].

O R² indica quanto da variância de Y é explicada pela variância das variáveis independentes. Seu valor está no intervalo entre 0 a 1: quanto maior, mais explicativo é o modelo de predição, ou seja, mais preciso [COSTA et. all, 2012].

Na regressão linear foi encontrada equação (y = -25,24x + 1524,6) com o coeficiente de determinação R² = 0,0895.

Resultado onde se conclui que a regressão linear não foi uma boa solução encontrada no estudo. Além desta constatação, o gráfico 1 demonstra muito bem que a relação linear não é percebida.

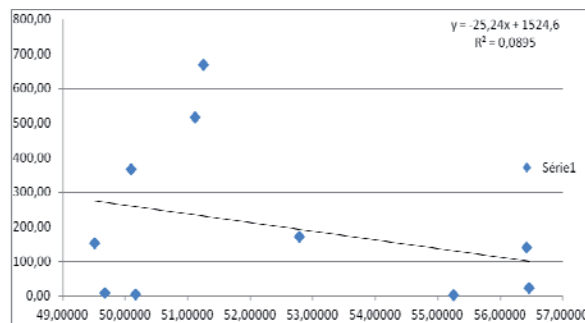


Gráfico 1- Regressão Linear

Diante desta constatação, os resultados finais obtidos foram aplicados em outros tipos de regressão. São elas: Exponencial (gráfico 2), potencial (gráfico 3), logarítmica (gráfico 4) e polinomial (gráfico 5).

Na regressão exponencial, assim como na linear, também não foi obtido um bom resultado, pois o valor de R² é de 0,0471 e equação (y = 273849e^{-0,16x}), um valor muito próximo de zero, resultado que praticamente anula a relação entre as variáveis.

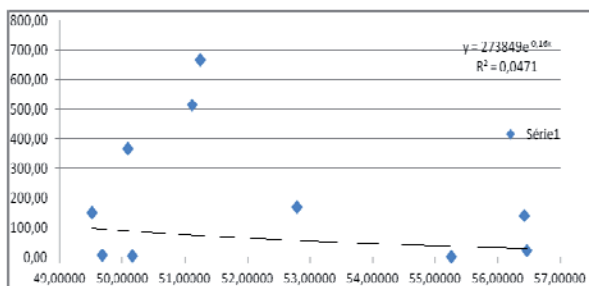


Gráfico 2 - Exponencial.

O resultado da regressão potencial é quase idêntico a da exponencial, ou seja, um resultado muito ruim, e também quase sem relação. Equação ($y = 1E+16x^{-8,337}$) e $R^2 = 0,0454$.

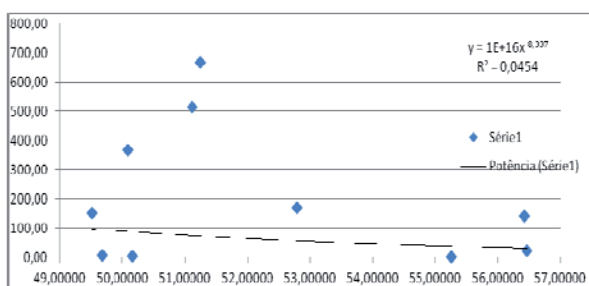


Gráfico 3 - Potencial

Na regressão logarítmica o resultado de R^2 é de **0,0853** e equação ($y = -1306\ln(x) + 5370,1$), um resultado parecido com o da regressão linear, mas ainda aquém de um resultado satisfatório para poder prever as perdas em função do rssi.

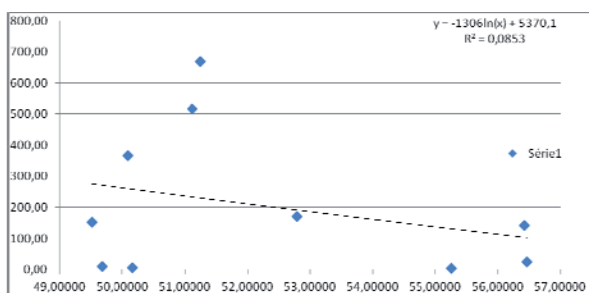


Gráfico 4 - Logaritmo.

Na regressão polinomial foi obtido um resultado satisfatório, e por tanto, somente partindo deste método, conseguimos atingir o objetivo inicial desse estudo. O valor encontrado para R^2 foi de **0,8195**, valor este que aproxima se de um, o que demonstra a relação entre as variáveis estudadas. A equação encontrada foi a ($y = -1,6465x^6 + 512,84x^5 - 66504x^4 + 5E+06x^3 - 2E+08x^2 + 4E+09x - 3E+10$), uma equação de grau 6.

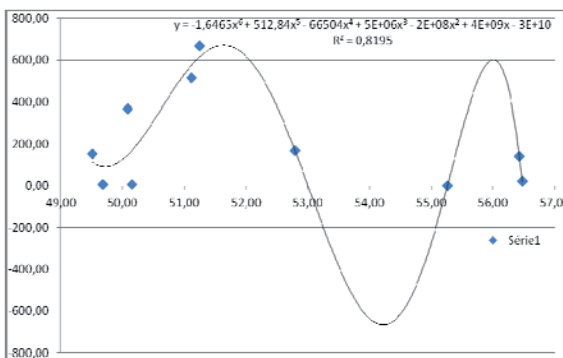


Gráfico 5 - Polinomial.

6. Conclusão e Trabalhos futuros

Inicialmente este estudo tinha como intuito encontrar uma boa solução para seleção de redes, principalmente para aplicações que necessitam de uma baixa taxa de perdas, utilizando o método estatístico da regressão linear simples. Porém este modelo não encontrou uma equação com um bom coeficiente de determinação para poder prever perdas através do nível de sinal (rssi).

Desta forma os resultados obtidos foram aplicados em outros modelos (exponencial, potencial, logaritmo e polinomial), a fim de encontrar uma equação capaz de prever a relação entre estas variáveis. Percebemos que apenas a regressão polinomial encontrou um resultado satisfatório, porém mais testes ainda devem ser realizados e por tanto trabalhos futuros sobre esta solução devem ser desenvolvidos, visto que outros cenários devem ser considerados e que não há a certeza se o custo computacional deste modelo é aceitável, pois sua equação de predição é bem complexa.

Referências

- [ARANDA et. all. 2008] Aranda, Mariela H., Jung, Carlos F., Caten, Carla S. **APLICAÇÃO DO PROJETO DE EXPERIMENTOS PARA OTMIZAÇÃO DE UMA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA.** Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Revista Gestão Industrial. Paraná, Brasil – Novembro de 2008. Disponível em: <http://revistas.utfpr.edu.br/pg/index.php/revistagi/artic1e/view/11/8>
- [CASTRO et. all. 2012], Castro, João P. M. L., Monteiro, Claudio C. **Seleção de redes sem fio heterogênea.** VII CONNEPI, Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas - Tocantis, Brasil – Outubro de 2012.
- [COSTA et. all. 2012], Costa, Francirley R. B., Monteiro, Claudio C., Filho, Manoel C. S., Carvalho, Joaquim J. **Predição de QoS em redes sem fio a partir do nível de sinal.** VII CONNEPI, Congresso Norte Nordeste de Pesquisa e Inovação. Palmas - Tocantis, Brasil – Outubro de 2012.
- [FREUND 2004] FREUND, John E. Estatística aplicada: economia, administração e contabilidade. 11º ed. Porto Alegre: Editora Bookman, 2004.
- [MONTEIRO 2012] MONTEIRO, Claudio de Castro. **Um ambiente para apoio à integração de redes sem**

fio heterogêneas. Tese (Doutorado em engenharia elétrica).

[NUNES 2006] Nunes, Bruno A. A. **UM SISTEMA DE LOCALIZAÇÃO PARA REDES WI-FI BASEADO EM NÍVEIS DE SINAL E MODELO REFERENCIADO DE PROPAGAÇÃO.** Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE. Rio de Janeiro, Brasil – Maio de 2006. Dissertação de mestrado disponível em: <http://www.ravel.ufrj.br/sites/ravel.ufrj.br/files/publicacoes/tese_bruno.pdf

[PAULA 2010], Paula, Gilberto A. **MODELOS DE REGRESSÃO com apoio computacional.** Instituto de Matemática e Estatística Universidade de São Paulo. São Paulo, Brasil – Dezembro de 2010. Disponível em:

<http://people.ufpr.br/~lucambio/CE225/2S2011/texto_2010.pdf>

[RIOS 2012] Rios, Vinicius M. **SELEÇÃO DE REDES SEM FIO BASEADA EM TÉCNICAS DE APOIO À DECISÃO.** Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Fevereiro 2012.

[SANTANA 2013] Santana, Hugo. **Qualidade de Serviço (QoS) em Redes IP Princípios Básicos, Parâmetros e Mecanismos,** Disponível em: <http://professores.unisanta.br/santana/downloads%5CTelecom%5CCom_Digitais%5CAulas%20o.%20Bimestre%5CTexto%20QoS_IP_Itelcon.pdf> Acessado em: 04/02/2013.

[TOLEDO e OVALLE 1995], Toledo, Geraldo L., Ovalle, Ivo I. **Estatística Básica 2º Ed.** . São Paulo: Atlas 1995.