

PS-1086

EXPERIMENTAL EVALUATION OF WIRELESS MESH NETWORK WITH THE INTEL CLASSMATE PC

Jorge R. Beingolea Garay(Laboratory of Integrated Systems, Polytechnic School of the University of Sao Paulo – Brazil) - Jorge@pad.lsi.usp.br

Roberto K. Hiramatsu (Laboratory of Integrated Systems, Polytechnic School of the University of Sao Paulo – Brazil) - Kenji@pad.lsi.usp.br

Sergio T. Kofuji (Laboratory of Integrated Systems, Polytechnic School of the University of Sao Paulo – Brazil) - kofuji@pad.lsi.usp.br

Roseli de Deus Lopes (Laboratory of Integrated Systems, Polytechnic School of the University of Sao Paulo – Brazil) - roseli@lsi.usp.br

This paper shows performance evaluation results of a wireless mesh network employing 802.11s standard and low cost Intel Classmate PCs. The experiments consist of throughput and coverage range determination, in indoor and outdoor scenarios. The results show maximum throughput of 14 Mbps for TCP and 12 Mbps for UDP.

Keywords: Classmate PC, Mesh Network, Digital Inclusion, 802.11s.

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DE REDES MESH COM AS INTEL CLASSMATE PC

Este artigo apresenta os resultados da avaliação de uma rede mesh empregando o padrão 802.11s e laptops de baixo custo para inclusão digital fabricados pela Intel - os Classmate PC. Os experimentos de avaliação contemplam testes em ambientes internos como externos, dentro dos quais são realizados testes de cobertura da rede e comunicação multihop. Os experimentos realizados mostram uma taxa máxima obtida na transferência de pacotes de 14Mbps e 12Mbps para TCP e UDP, respectivamente, comprovando a viabilidade da solução proposta para o processo de inclusão digital nas escolas públicas.

Palavras-chave: Classmate PC, Redes Malha, Inclusão Digital, 802.11s

1. Introdução

Como uma alternativa de intensificar a inclusão digital no país, o Governo Brasileiro se junta a uma das maiores iniciativas internacionais de inclusão digital, o Projeto OLPC (“*One Laptop Per Child*”) proposto pelo MIT. O OLPC propõe a utilização em escolas públicas de laptops de baixo custo com capacidade de comunicação sem fio em rede *mesh*, conhecidos como laptops XO. Experiências do uso de computadores portáteis no processo de aprendizado são realizadas em diferentes escolas sobre a supervisão de importantes centros de pesquisa das maiores universidades do país com o aval do Governo Federal. O Projeto RUCA [Ruca 2007] administrado pela RNP [RNP 2007] realiza um estudo de redes *mesh* utilizando a arquitetura de hardware das XO. Em [ReMesh 2007] se implementa o primeiro projeto piloto no Brasil para estudo de viabilidade de uma rede de acesso universitária sem fio de tipo *mesh*. Google [Google 2007] implanta a *Google Mesh*, uma rede de acesso comunitário a Internet na Califórnia, provendo uma largura de banda de 1Mbps.

Entretanto, as redes de tipo *mesh* são relativamente novas, existindo ainda muitas questões técnicas a resolver, tais como: a segurança na conexão, a estabilidade de conexão através de eficientes algoritmos de seleção de canais para otimização e confiabilidade na transmissão de dados [Alicherry et al. 2006], técnicas de transmissão multi-rádio e multi-salto [Draves et al 2004], que precisam ser consideradas na implementação de uma rede *mesh* contemplando as diferentes arquiteturas de hardware existentes.

Paralelamente ao projeto das OLPC’s com as XO, surgem outras iniciativas ao processo de inclusão digital. Uma delas é promovida pela Intel, através da Classmate PC [ClassmatePC 2007], a qual já esta na sua segunda versão Classmate PC 1.5.

As Classmate PC, assim como as XO, consideram entre suas formas de comunicação a implementação de uma rede IEEE 802.11s, que provê uma solução para a formação de redes *mesh* (malha) sem fio auto-configuráveis. O objetivo deste trabalho é determinar a eficiência deste tipo de rede, considerando seu baixo custo de implementação e necessidade de pouca infra-estrutura dentro do cenário de uma escola.

2. A Classmate PC e a Inclusão Digital.

A Classmate PC é o resultado da iniciativa da Intel no processo de Inclusão Digital nas escolas, provendo aos futuros usuários (alunos) um hardware versátil e com possibilidade de conexão em rede, através de interfaces com e sem fio. As duas versões de Classmate PC existentes, a Classmate PC 1.0 e a 1.5, possuem módulos internos de rede *wi-fi* com suporte a rede *mesh* sobre o padrão IEEE 802.11s. O hardware em questão é composto por um processador Celeron de 900MHz, memória RAM de 256Mbytes e uma memória Flash de 2Gbytes.

A disponibilidade de acesso a Internet como fonte de conhecimento através de uma infra-estrutura de baixo custo é um aspecto importante no conceito do OLPC. Os computadores podem se conectar entre si e acessar um mesmo recurso sem necessidade de um *backbone* físico convencional cabeado. O desempenho e robustez da rede sem fio para

a interconexão dos laptops, acesso a recursos compartilhados e eventualmente à Internet, são aspectos importantes na viabilidade do projeto OLPC.

O LSI - Laboratório de Sistemas Integráveis da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - é um dos centros de pesquisa brasileiros que fazem parte do projeto de inclusão digital o qual tem como foco o uso das XO em algumas escolas do Estado de São Paulo. Além de avaliações experimentais do XO, o LSI também tem estudado outras iniciativas de plataformas de baixo custo, onde então se inclui a Classmate PC da Intel.

3. IEEE 802.11s e as Classmate PC.

O IEEE 802.11s é um padrão que especifica a transmissão através de múltiplos saltos (*multi-hop*) no nível da camada de enlace para redes *ad-hoc*, oferecendo comunicação em grupo de complexidade exponencial. O padrão especifica o uso de um protocolo de roteamento chamado HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*) [Bahr, 2006], o qual é baseado no conhecido protocolo para redes *ad-hoc*, AODV [Perkins, 2003].

Nas redes de tipo *mesh* (malha), os nós atuam como encaminhadores de pacotes de outros nós que não se encontram na área de conexão direta com os seus destinos, permitindo maior alcance, melhor cobertura da rede e o fácil acesso aos diferentes recursos que existem dentro da mesma. Assim, é possível adicionar facilmente usuários e pontos de acesso à rede. Além da escalabilidade, outra característica importante deste tipo de rede é o natural suporte à redundância nas rotas de comunicação.

Com o intuito de determinar a eficiência deste tipo de rede sobre uma arquitetura diferente à do XO foi utilizada a Classmate PC, fazendo desta última arquitetura uma alternativa ao processo de inclusão digital.

A implementação da rede *mesh* no Classmate PC segue a arquitetura proposta pelo padrão IEEE 802.11s, a qual considera quatro tipos de nós na organização da rede: i) um Cliente ou Estação (STA – *Client or Station*), o qual requer os serviços da rede, mas não prove nenhum tipo de serviço de descoberta ou roteamento de pacotes; ii) o Ponto *Mesh* (MP – *Mesh point*), que é o nó que participa na formação e operação da rede *mesh*; iii) o Ponto de Acesso *Mesh* (MAP – *Mesh Access Point*), que mantém o AP para prover serviços aos clientes da rede, e iv) o Portal de Acesso *Mesh* (MPP - *Mesh Portal Point*), que proporciona os serviços de *gateway* entre uma rede *mesh* e uma rede externa, como a Internet.

As Classmate PC utilizam um único sistema de rádio a 2.4Ghz. Duas interfaces de rede sem fio são providas pelo sistema operacional: *rausb0* a qual é a interface principal de conexão a uma rede *wi-fi* e a interface *mesh0* para conexão à rede *mesh*. Além das interfaces sem fio, as Classmate PC disponibilizam uma interface para redes física chamada *eth0*.

Estas interfaces permitem que os dispositivos atuem como STA, MP e também como MPP, possibilitando o tráfego dentro e fora de uma rede *mesh* da mesma forma que o XO. Existem duas formas de se transformar uma Classmate PC em um MPP, através da

interface sem fio. A primeira é conectando a Classmate PC a uma rede sem fio estruturada, que poderíamos chamar de *wired*, por meio da interface *rausb0*. A segunda é através de scripts iniciando a interface virtual *mesh0* que será associada a um ponto de acesso AP. O tráfego da interface *rausb0* conectada ao AP e repassada à interface *mesh0* que servirá de MPP para os outros nós da rede *mesh*. O funcionamento desta rede necessita de algumas configurações adicionais com o objetivo de manter a rede funcionando de forma semelhante às XO.

Uma outra forma da Classmate PC atuar como MPP é utilizar a interface *eth0* e a interface virtual *mesh0* para configuração que neste caso atua como um roteador, possibilitando o tráfego da interface *mesh0* para a rede cabeada, através da interface *eth0*. Esta configuração não foi testado mas há a possibilidade de gerenciar estas duas interfaces em uma mesma Classmate PC.

4. Conectividade nas Classmate PC

O sistema de rádio das Classmate PC é composto por um chipset Railink rt73 e uma interface 802.11b/g. Diferente das XO, as Classmate PC não possuem antenas externas, que ajudam na transmissão e recepção de dados essencialmente em ambientes internos onde a densidade da estrutura física do cenário de comunicação é capaz de atenuar o sinal dos dispositivos transmissores (como vários laptops comerciais, no Classmate PC a antena é integrada à estrutura do display). Cada uma das interfaces de comunicação *rausb0* e *eth0* utilizam um barramento de comunicação USB.

A geração do tráfego TCP e UDP é realizada através da ferramenta *Iperf tool* [NLNR/DAST, 2007] e como um *sniffer* alternativo para o controle de tráfego da rede *mesh* é utilizada a ferramenta Wireshark [Wireshark 2007].

4.1. Roteamento

Atualmente, o padrão 802.11s estabelece o uso obrigatório do protocolo HWMP (*Hybrid Wireless Mesh Protocol*). O HWMP é um protocolo de roteamento para garantir a interoperatividade da rede combinando o conceito de descoberta de rotas de baixa demanda com a criação de árvore de roteamento pró-ativo. A descoberta de rotas de baixa demanda dá uma maior flexibilidade para a criação de redes *mesh* onde os nós são móveis; já o caso do roteamento pró-ativo reduz a carga do tráfego de controle *intra-mesh* em redes com nós fixos.

- a) *HWMP rotas de baixa demanda*: permitem aos nós móveis obterem novas rotas para os destinos de forma rápida e sem manter rotas não ativas. O emissor envia um comando RRQ (*route request packets*) em *broadcast* (Figura 1).

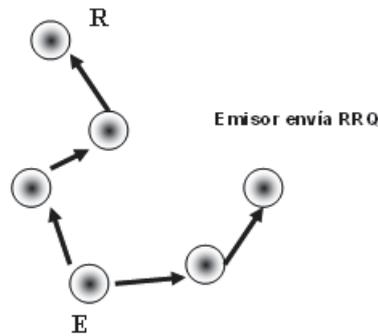


Figura 1. Envio do RRQ pelo emissor.

A rota é criada logo após obter a resposta do destinatário com um comando de *route-reply* ao nó intermédio que tem uma rota válida ao emissor (Figura 2).

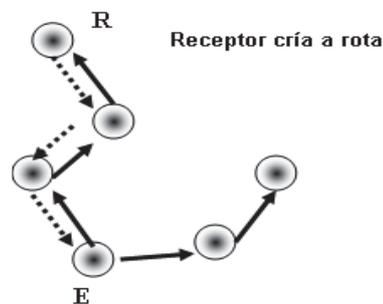


Figura 2. Receptor cria nova rota.

A rota é mantida até que exista uma perda de comunicação de algum dos nós - nesse caso uma mensagem de *route-error* é emitido e inicia-se um novo processo.

- b) *HWMP roteamento pró-ativo*: cria-se uma tabela de roteamento em cada nó em resposta à solicitação do MPP (*gateway*) em broadcast. Os nós *mesh* calculam o melhor caminho até o *gateway* em função do número de saltos e armazenam as distintas sub-rotas. Figura 3.

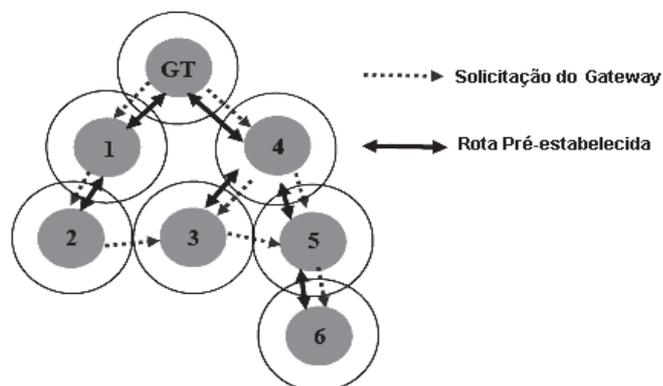


Figura 3. Roteamento Pro-ativo.

Em caso de perda de comunicação de um nó com o *gateway* se emite uma mensagem de erro pelo nó identificando uma mudança de rota ao resto da rede.

Visto desde uma ótica menos técnica, nas Classmate PC cada nó seria uma espécie de *Cliente-Emissor-Repetidor* da rede *wi-fi* o que resulta em uma rede *mesh*. Tecnicamente cada ponto de conexão é um nó interconectado a outros nós formando a *mesh* via rádio. Aliás, cada ponto é também independente na medida em que pode decidir a rota que seguirá cada pacote de informação em cada momento. Finalmente, quando é produzido um corte na rede o próprio nó deverá ser capaz de decidir como traçar uma nova rota.

5. Experimentos realizados

Nas subseções seguintes são detalhadas as configurações e procedimentos para a realização dos experimentos e finalmente é exposto cada um dos resultados obtidos como resultado destas configurações.

5.1. Configuração Prévia.

As simulações em software em alguns casos não refletem os dados obtidos experimentalmente, pois não é possível parametrizar toda a interação do hardware transmissor sem fio e o ambiente de propagação. Assim, medições experimentais em cenários reais se tornam importantes para determinar os fenômenos que possam influenciar negativamente o desempenho da rede.

Neste trabalho é escolhido um cenário real para a realização dos testes, obtendo-se resultados de maior exatidão que os obtidos por simulação, e que poderão auxiliar na futura implementação de redes *mesh*, fazendo uso das Classmate PC.

Durante as configurações foi considerado o uso de algumas ferramentas de rede assim como o uso de um S.O. baseado em Linux.

O *Sistema Operacional Metasys* [Metasys 2007], baseado na distribuição Linux OpenSuse 10.1 e 10.2 personalizado para o *hardware* do Classmate PC, mostra ser bastante robusto e proporciona algumas ferramentas que possibilita a interação entre os usuários, através de um comunicador chamado *Pidgin*. Este software possui as virtudes de um sistema de *chat*. A diferença é o funcionamento sobre uma rede *mesh*, utilizando um protocolo de conexão *multicast* denominado *bonjour*. Esta ferramenta foi utilizada unicamente para verificar a estabilidade da conexão *mesh* nos experimentos de variações de distâncias. O *Pidgin* precisava ser desligado antes de iniciar cada um dos testes TCP e UDP com a ferramenta *Iperf*. Este procedimento evita que os *frames* de sincronismo de cada um das Classmate PC não ocupem a largura da banda a ser testada, interferindo nos resultados finais dos experimentos realizados.

Na realização destes experimentos, várias versões do núcleo do sistema operacional e arquivos de configuração foram testadas com o intuito de melhorar a estabilidade das conexões, através das interfaces *rausb0* (*wi-fi*) e *mesh0* (rede *mesh*). O passo seguinte foi a instalação da versão do S.O Metasys beta2b com suporte *mesh* em cada uma das Classmate PC que faz parte de nosso experimento.

A ferramenta de *sniffer* RF que foi usada para captura do tráfego de dados provenientes de interfaces sem fio é o Wireshark. Após a instalação do *sniffer*, foi instalado o Iperf para a realização dos testes de transmissão de frames TCP e UDP. A limitação de espaço de armazenamento no hardware foi um problema para procedimentos de instalação envolvendo compilação. Este problema foi resolvido usando um servidor OpenSuse de mesma versão àquela instalada no Classmate PC, pois os componentes de software usados no portátil são baseados em arquitetura x86. A ferramenta Iperf foi compilada no servidor e instalada via NFS nas Classmate PC.

Outros problemas encontrados durante as configurações iniciais para realização dos experimentos foram a instabilidade da rede *mesh*, que perdia a conexão após um determinado intervalo de tempo ou quando um novo dispositivo era iniciado na rede *mesh* (outra Classmate PC). A falha era provocada por um conflito com o comunicador *Pidgin* que era configurado para iniciar junto ao S.O. A solução foi desativar a configuração que permite o início predeterminado do comunicador. Aliás, outras configurações devem ser realizadas como editar o arquivo `\init.d` para iniciar a interface `mesh0` e a conexão *mesh* de forma automática, ao mesmo tempo que o gerenciador de conexões sem fio para que inicie a detecção da rede *mesh* de forma automática uma vez iniciado o sistema.

a) *Hardware das Classmate PC*

A documentação do Classmate PC é escassa. Alguns de seus componentes são facilmente identificados pelo S.O. como o processador Celeron de 900Mhz, mas os detalhes mais técnicos como a estrutura física da placa mãe é pouco conhecida. A incompatibilidade inicial do S.O. com o novo chip de rádio da Railink acondicionado na nova versão das Classmate foi um dos nossos maiores impedimentos na configuração da rede *wi-fi* e a rede *mesh*, problema que foi resolvido após algumas correções na versão do S.O. Metasys (adoção de uma nova versão do *driver* da placa *wi-fi* que possibilitou o uso da interface física `rausb0` e a interface virtual `mesh0` simultaneamente). Um outro problema identificado foi o tipo de Criptografia utilizada nas Classmate PC, a qual só suporta WEP de 64 bits, sendo que alguns AP suportam só WEP de 128 bits e os mais modernos WEP e WAP.

b) *Testes de energia*

Os experimentos realizados em campo apresentam sempre entre suas limitações o abastecimento de energia para os equipamentos que estão sendo usados nas avaliações, limitação que as Classmate PC resolvem muito bem, utilizando uma bateria Samsung de Li-Ion de 11.1 volt de 4000 mA hora, que apresenta uma duração de 4 horas na realização dos experimentos. O resultado do consumo progressivo de energia é apresentado no gráfico da figura 4.

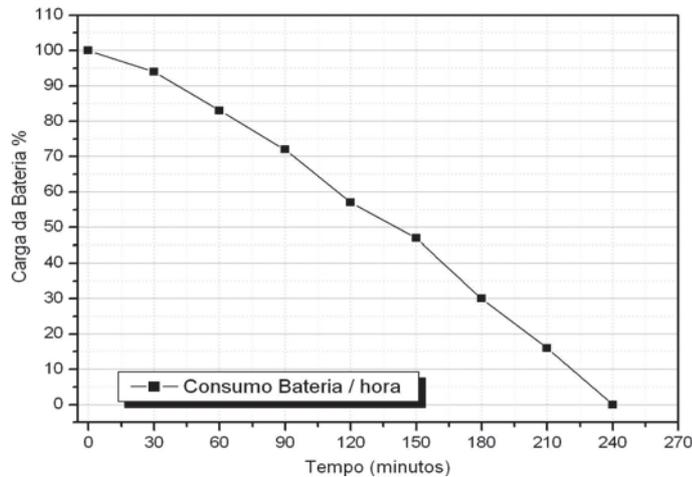


Figura 4. Consumo da bateria/hora.

Os experimentos de consumo de energia apresentaram os mesmos resultados em todo momento, mesmo em ambientes internos como externo. Devido à eficiência da bateria da Classmate PC os experimentos foram realizados em três dias, iniciando com testes prévios para eliminar possíveis erros na configuração das Classmate e na rede *mesh* como nas ferramentas de software utilizadas nos experimentos.

O teste de energia foi incluído nos experimentos para garantir a que os resultados não sejam afetados pelas variações de carga da bateria.

c) Comunicação RF

Experimentos de propagação são bastante difíceis de realizar e reproduzir, pois cada cenário prove situações e variáveis diferentes na transmissão, variáveis de propagação em ambientes internos, devido à diversidade da estrutura física do ambiente de propagação não são consideradas em uma análise realizada em ambientes externos. O ganho da antena do rádio transmissor em cada um destes ambientes é totalmente diferente. As Classmate não possuem antenas externas, o qual pode resultar em desvantagem em determinados ambientes. Outra limitação é a dificuldade da análise de RF; o tipo de comunicação, múltiplas rotas, que utilizado dificulta a coleta de amostras em campo devido às condições variáveis deste tipo de comunicação, a solução inicial seria realizar uma coleta de amostras baixo diversas situações e em um número maior sendo que o resultado apresentado possa ser o valor médio obtido de todas estas amostras.

d) Variação de Distâncias

Neste ponto são descritos os parâmetros considerados para a realização dos testes de alcance do sinal, segundo a variação de distâncias, criando finalmente uma relação com a taxa de transferência de pacotes TCP e UDP. O cenário é um ambiente externo e a distância de separação entre o servidor Iperf e o cliente para a transmissão de *frames* TCP e UDP é de até 500m. A altura determinada para este receptor e transmissor é 1.20m com o objetivo de melhorar a linha de visão direta e sem obstáculos entre os dispositivos. Esta

seria a altura máxima de elevação por parte de um aluno, utilizando um destes dispositivos em um ambiente externo. A idéia destes experimentos é reproduzir de forma mais realista o cenário de uso real. Na realização dos experimentos de variação de distâncias são considerados dois tipos de cenários: i) o cenário A é um cenário livre de obstáculos; ii) o cenário B é um cenário na qual se inclui o trânsito de pessoas e de veículos.

A transmissão nas Classmate é realizada com uma potência máxima de 18 dBm. O receptor *wi-fi* destes dispositivos normalmente consegue identificar sinais de muito baixa potência até mesmo de -92 dBm. A unidade dBm é uma referência em decibéis a uma potência de 1 mW. Portanto, a potência em dBm é calculada através da seguinte fórmula (1):

$$P[dBm] = 10 \cdot \log\left(\frac{P[mW]}{1mW}\right) \quad (1)$$

A sensibilidade nos receptores é importante, pois os sinais de RF dispersam e atenuam no caminho de propagação, o que faz com que a potência recebida seja sempre muito menor do que a irradiada pelo transmissor. Os modelos matemáticos utilizados para descrever a propagação de ondas eletromagnéticas (RF) são em sua totalidade derivadas das equações de Maxwell [Eskelinen, 2004] [Schnell, 1993]. Inicialmente é possível considerar um modelo simples dado pela fórmula de transmissão de Friis a qual descreve de forma clara e simples a propagação de ondas no espaço livre (2) [Ulaby, 1981]:

$$\frac{P_R}{P_T} = \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 G_T G_R = L_{FS} \cdot G_T \cdot G_R \quad (2)$$

Sendo: P_R e P_T são as potências recebida e transmitida, G_T e G_R são os ganhos das antenas do transmissor e do receptor, λ é o comprimento de onda e d é a distância entre o transmissor e o receptor. A variável L_{FS} representa a perda de transmissão no espaço livre (*free space transmission loss*). Também é necessário calcular a perda na transmissão em um ambiente externo (o valor de L_{FS}) a qual pode ser calculada através da fórmula (3) [Carrano, 2007]:

$$L_{FS} = 20 \log(d) + 40 \quad (3)$$

Um modelo possivelmente mais adequado deverá considerar a presença dos diversos obstáculos existentes no caminho entre o transmissor e o receptor, como as árvores em áreas abertas, os edifícios próximos, etc. Nestes casos, o sinal de rádio sofrerá atenuação devido à absorção de energia eletromagnética [Bulusu,2000] [Ulaby, 1981].

Os experimentos realizados se limitaram a uma distância de 500m; a potência de saída é de 18 dBm, a sensibilidade do receptor é -92 dBm, a altura inicialmente determinada foi de 1.20m. Após os 350m se adicionou uma elevação de mais 50cm devido à geografia do campo de testes. O resultado foi uma taxa de transferência que superou os 3 Mbps, que é um valor suficiente para prover ao usuário de qualquer tipo de serviço de rede. As operadoras de acesso banda larga à Internet oferecem em geral serviços de conexão a Internet com uma largura máxima de 4 Mbps, sendo que as mesmas só garantem o 10% da banda contratada. Isto é, 500 kbps de taxa, considerando hipóteses extremas. Um dos

serviços testados nesta distância foi a do comunicador *Pidgin* do S.O. Metasys o resultado foi imediato e eficiente, as *Classmate* conseguiram se sincronizar rapidamente e o *delay* nas comunicações como resultado de estas distâncias foi quase imperceptível.

As medidas com o *Iperf* foram realizadas entre um servidor e um cliente *Iperf*; a transmissão dos *frames* foi realizada em duas etapas: na primeira utilizou-se transmissão TCP, a segunda etapa foi utilizando *frames* UDP; para ambos os casos foi também realizada uma análise de perda de pacotes segundo a variação de distâncias.

Na figura 5, pode-se observar a vazão de dados TCP que atinge os 14 Mbps aos 50m e diminui com o aumento da distância entre o dispositivo transmissor (Cliente *Iperf*) e o receptor (Servidor *Iperf*). É apresentada no mesmo gráfico a perda de dados no cenário A, a qual só começa a se mostrar significativo só após os 250m, atingindo uma perda máxima igual a 4% da vazão total transmitida em distâncias de até 500m.

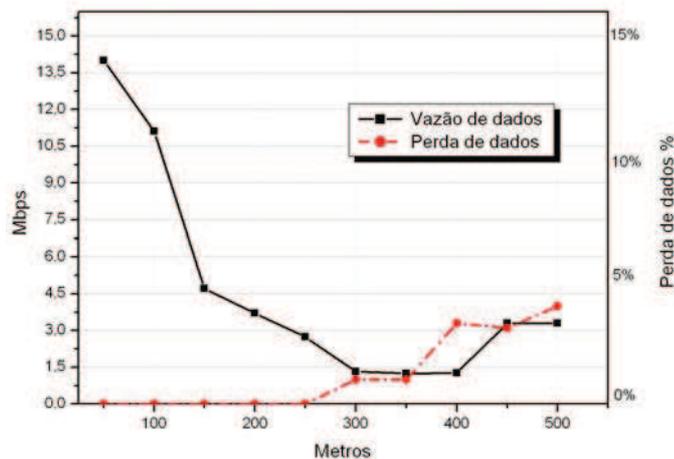


Figura 5. Vazão e Perda de dados TCP segundo a variação de distâncias – Cenário A.

Na figura 6(a) observa-se a vazão UDP que atinge o valor máximo de 1,6 Mbps e apresenta pouca variação até os 200m, o qual poderia se considerar como eficiente. No entanto, após os 200m se tem uma queda de 18,75%, isto é, uma vazão de 1,3 Mbps (81,25% do valor inicial). Já no gráfico da figura 6(b) se mostra a perda de dados no mesmo cenário segundo uma variação de distância de até 500m. Os resultados obtidos indicam uma perda igual a 0 até os 100m, uma perda inicial e linear de 1,5 Mbps até os 200m e que só apresenta ser significativa acima dos 350m, com uma perda de vazão que alcança os 7,6 Mbps em relação à vazão transmitida e apresentada no gráfico 6(a).

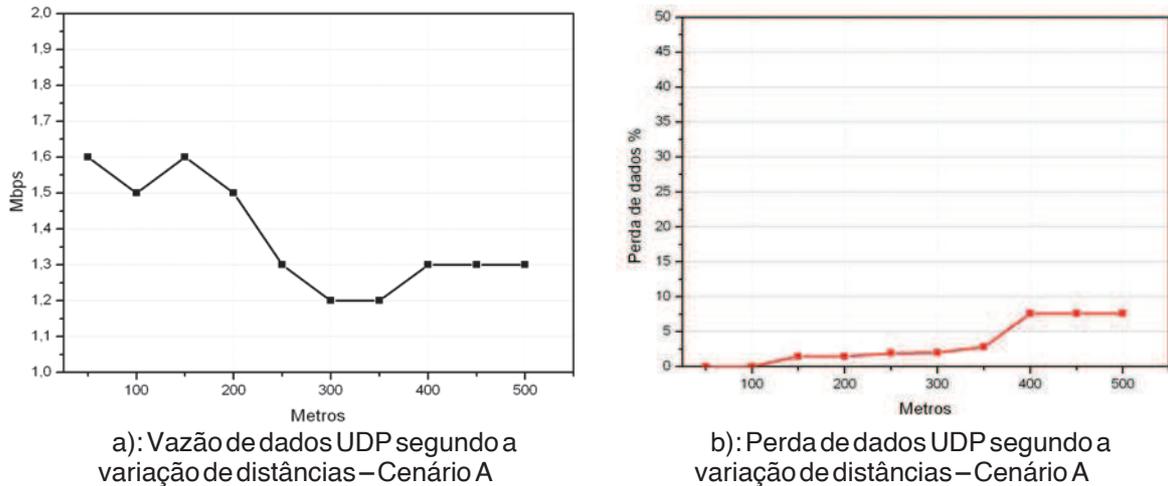


Figura 6. Vazão e Perda de dados UDP.

Os resultados dos experimentos realizados no cenário B são apresentados no gráfico da figura 7, a qual mostra a vazão TCP e UDP segundo uma variação de distância de até 500m. A vazão TCP atinge um valor de até 6.0 Mbps com uma queda significativa em distâncias acima dos 100m. Já no caso da transmissão UDP a vazão é de 1.0 Mbps com uma queda de 27% até os 500m em relação ao valor inicial.

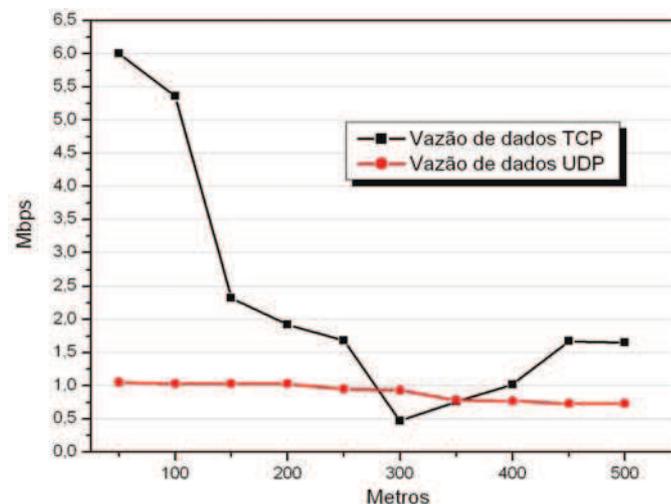


Figura 7. Vazão de dados TCP e UDP segundo a variação de distâncias – Cenário B.

A diminuição da vazão de dados no cenário B (Figura 7) é devido à existência de obstáculos entre os pontos de transmissão, causando uma quebra no enlace entre o dispositivo transmissor e receptor. A falta de visibilidade provocada pelos obstáculos existentes entre os dispositivos contribui na atenuação do sinal inicialmente irradiado pelo transmissor causando um impacto na vazão de dados. Segundo os experimentos realizados no cenário B, a transmissão UDP apresenta um resultado mais linear, mesmo que baixa.

Na realização de nossos experimentos há ainda um terceiro cenário, o qual é chamado de cenário *multihop*, fazendo uso de uma rede de maior densidade; neste experimento é utilizado um número de seis Classmate PC. A separação existente entre os dispositivos é de um máximo de 10m e a vazão de dados é medida em função do número de saltos. A transmissão de *frames* é realizada de duas formas: a primeira é feita através do Iperf transmitindo um *frame* de 1400 Kbytes; A segunda é através da ferramenta SCP. Inicialmente a transmissão via Iperf garantiu uma vazão inicial de 14 Mbps e de 3.29 Mbps aos 500m.

Neste experimento do cenário *multihop* é incrementado o número de nós em . O incremento é realizado de forma progressiva e entre o transmissor e o receptor (Figura 8).

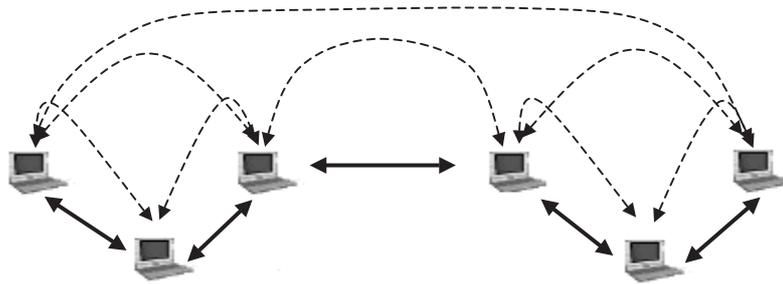


Figura 8. Cenário *Multihop*.

Como um passo inicial aos experimentos finais é sempre realizado testes prévios com o objetivo de eliminar possíveis erros tanto do software como também do hardware que está sendo utilizado nestas avaliações. O objetivo deste experimento é determinar a largura de banda disponível para um aluno com uma Classmate em uma rede mesh; se consideramos que a vazão inicial é de 12 Mbps e de uma segunda a terceira laptop essa largura de banda pode cair em um 30%, será que ainda é possível que exista largura de banda suficiente para alunos que se encontrem com as suas laptop a mais de 3 saltos?. No experimento realizado é considerado um número máximo de 6 saltos, obtendo como resultado uma vazão inicial de 12.2 Mbps com um salto, e de 2.9 Mbps (Figura 9) com seis saltos. O resultado de 2.9 Mbps proporciona a banda suficiente para obter e administrar qualquer serviço de rede de forma eficiente, a consideração a tomar em conta é que a separação existente entre o laptop é de máximo 10m. A possibilidade de obter o mesmo resultado em uma distância de cobertura maior existe se consideramos os resultados apresentados no gráfico da figura 6(a) onde se obteve uma taxa de 1.3 Mbps para uma distância de até 500m.

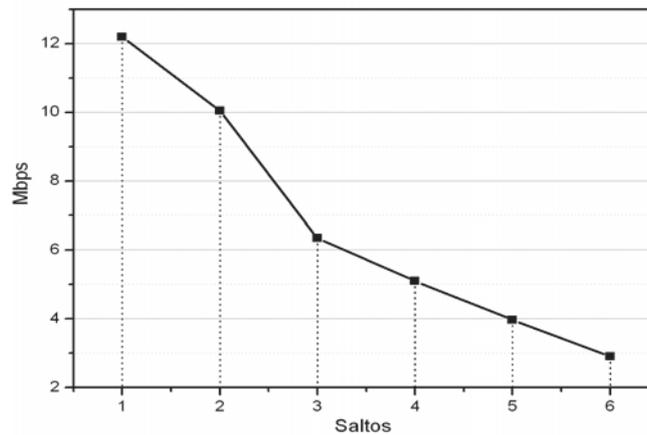


Figura 9. Vazão de dados UDP segundo o número de saltos.

O segundo e último experimento realizado no ambiente *multihop* é a transferência de *frames*, utilizando a ferramenta SCP comum para a transferência de arquivos neste tipo ambientes. O valor atingido é de 3.0 Mbps com um salto e uma queda de 50% em até seis saltos, sendo que o valor é de 1.5 Mbps, os resultados podem ser observados no gráfico da figura 10.

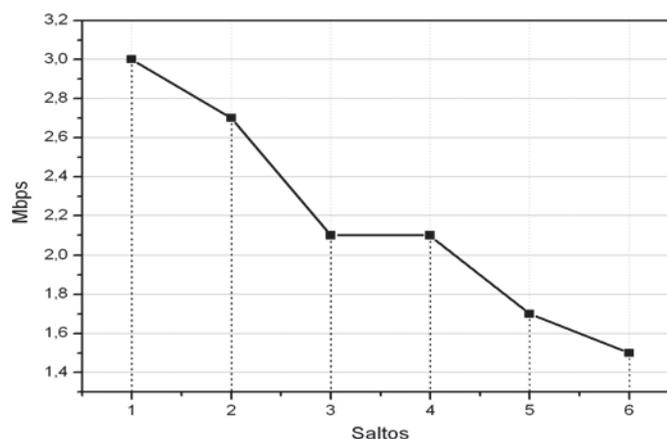


Figura 10. Vazão de dados SCP segundo o número de saltos.

6. Conclusões

O objetivo do presente trabalho é de avaliar o desempenho de uma rede *mesh* 802.11s no contexto da inclusão digital, avaliando a capacidade de comunicação em *mesh* da Classmate PC.

Os experimentos realizados iniciaram-se com a transmissão de *frames* TCP e UDP segundo a variação de distâncias e observando o seu impacto na taxa de transferência de pacotes. Os experimentos apresentaram resultados positivos com valores acima de 2Mbps aos 250m (2,73Mbps) e de 1,25Mbps aos 350m, sendo que o desempenho da taxa de transferência é de 3,29Mbps para distâncias de até 500m com altura superior a 1.70m nos dispositivos após os 350m.

A implementação de uma rede *mesh* sobre o padrão 802.11s apresenta desafios de comunicação, seja qual for a plataforma de hardware (XO ou Classmate PC). Entretanto, as Classmate apresentaram um bom comportamento como resultado de sua implementação em uma rede *mesh* sobre o padrão 802.11s, porém, alguns aspectos técnicos como a instabilidade da rede *mesh* e problemas do controlador da interface *wi-fi* precisaram ser resolvidos.

O maior problema apresentado é a sensibilidade da transmissão em faixas livres de 2.4GHZ, sendo esta frequência sensível a interferências, ruído, obstáculos, etc. Isto é visível nos resultados experimentais do cenário B. (Figura 7). Embora os resultados sejam positivos para distâncias de até 500m (cenários A e B) estes são resultados ao ar livre. Nos testes de *multihop*, o cenário em ambiente interno apresentaram resultados de uma queda significativa, causados pela pouca penetração destes dispositivos, através de bandas de frequência de 2.4GHZ, o qual limitou a distância de separação máxima das Classmate a 10m; o resultado foi uma vazão UDP de 2,9Mbps após 6 saltos e de 1,5Mbps para SCP.

O resultado da diminuição do sinal em ambientes internos pode ser resolvido através de um hardware adicional como um repetidor ou projeção de antenas externas nos dispositivos, embora a projeto das Classmate não o permita. Talvez seja possível considerar a utilização de antenas externas de baixo custo estrategicamente posicionadas nas escolas com o intuito de melhorar a cobertura e penetração das Classmate nas salas de aula. Já no caso da comunicação ao ar livre é bastante fácil conseguir um bom sinal com pouco esforço.

Referências

Alicherry, M.; Bhatia, R.; Li, L.E. (2006) "Joint Channel Assignment and Routing for Throughput Optimization in Multiradio Wireless Mesh Networks". IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Novembro.

Bahr, M. Proposed Routing for IEEE 802.11s WLAN Mesh Networks (2006).

Bulusu, N.; Heidemann, J.; Estrin, D. (2000) GPS-less Low-Cost Outdoor Localization for Very Small Devices; IEEE Personal Communications, pp. 28-34.

Carrano, R.; Martins, Raphael and Magalhães, L. (2007) The Ruca Project and Digital Inclusion. pp. 1-12.

Classmate PC (2007). Intel Educar. Disponível em: <http://www.intel.com/research/ClassMate.html>

Draves, Padhye, Zill (2004), "Routing in Multi-radio, Multi-hop Wireless Mesh Networks", ACM MobiCom, Philadelphia, PA, setembro. Disponível em: <http://research.microsoft.com/mesh/>.

Eskelinen, P.; Introduction to RF Equipment and System Design; Artech House, Boston, London, pp. 263 ISBN 1-58053-665-4. 2004.

Google Mesh Network (2007). Disponível em: (<http://www.lirneasia.net/2006/08/google-mesh-network-is-running-in-california/>)

Metasys (2007). Sistema Operacional Metasys Classmate. Disponível em: <http://www.metasys.org.br>

NLANR/DAST: Iperf 1.7.0 - The TCP/UDP Bandwidth Measurement Tool – <http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf/> Novembro de 2007.

Perkins, Charles E., Belding-Hoyer, Elizabeth M., Das, Samir R. (2003) “Ad Hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing”, IETF RFC 3561, Julho.

ReMesh (2007). Projeto ReMesh. Disponível em: <http://mesh.ic.uff.br>.

Schnell, L.; Technology of Electrical Measurements; Ed. John Willey & Sons, Inglaterra, pp.409. 1993.

Ulaby, F. T., Moore, R. K. and Fung, A. K. (1981) Microwave Remote Sensing: Active and Passive; vol. 1, Artech House, London, UK, pp.456.

Wireshark Sniffer (2007). Disponível em: <http://www.wireshak.org>