



20 e 21 de outubro
Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
São José dos Campos - SP

Planejamento de redes em malha com verificação de parâmetros de qualidade de serviço

Marlon da Silva¹, Edson Luiz França Senne², Nandamudi Lankalapalli Vijaykumar³

¹Programa de Mestrado em Computação Aplicada – CAP, INPE
São José dos Campos – SP

²Departamento de Matemática, UNESP – Campus de Guaratinguetá
Guaratinguetá-SP

³Laboratório Associado de Computação – INPE
São José dos Campos – SP

{marlon.silva,vijay}@lac.inpe.br, elfsenne@feg.unesp.br

Abstract. *Mesh network is a very much used alternative to extend the coverage of a wireless network. With the increase of multimedia applications, it has become important to guarantee quality of service in networks. In this paper, we show a planning of wireless mesh networks algorithm, with traffic of data, audio and video services, to ensure a desired quality. For this, the algorithm determines a topology that attempts, at a minimum cost, to satisfy every client in some quality of service parameters, such as loss probability and throughput. The algorithm uses Monte Carlo simulation to get an acceptable standard of network performance in terms of these parameters.*

Resumo. *A rede em malha é uma alternativa cada vez mais utilizada para estender a cobertura de uma rede sem fio de uma localidade. Com o aumento da utilização de recursos multimídia, cresceu a importância de assegurar a qualidade de serviço em redes. Neste trabalho, é apresentado um algoritmo de planejamento de redes em malha, nas quais serão trafegados serviços de dados, áudio e vídeo, de modo a garantir uma qualidade desejada. Para isto, o algoritmo determina uma topologia que atenda, ao menor custo, a todos os clientes dentro de alguns parâmetros de qualidade de serviço, como taxa de perda de pacotes e throughput. O algoritmo utiliza simulação Monte Carlo para obter o nível de desempenho da rede em termos destes parâmetros, de modo a orientar a busca por uma boa topologia.*

Palavras-Chave. *Redes mesh, QoS, Simulação Monte Carlo.*

1. Introdução

A tecnologia de redes sem fio está bem difundida atualmente e vem sendo utilizada em empresas, instituições de ensino e pesquisa e até por usuários domésticos, devido à facilidade trazida pelos aparelhos portáteis. Dentre as tecnologias disponíveis no mercado de redes sem fio, a mais utilizada é a Wi-Fi [Lee et al. 2006], que é uma rede composta por um aparelho roteador e cobre uma área pequena, como uma residência ou um conjunto pequeno de salas comerciais, por exemplo. Outras tecnologias foram criadas para o atendimento de áreas mais extensas, como a rede WiMAX e as redes em malha (redes *mesh*). A tecnologia WiMAX possui uma área de cobertura extensa, com conexão via rádio e as redes *mesh* interligam vários roteadores em uma mesma rede, sob o formato de uma malha. Estas tecnologias permitem a utilização de um serviço de rede sem fio em qualquer lugar desde que esteja dentro de uma determinada área de cobertura.

Especificamente, as redes em malha possuem como principal característica a transmissão multissalto, ou seja, a transmissão de dados de um roteador para outros roteadores de forma a estender a área de cobertura da rede até alcançar os clientes desejados. Além disso, a estrutura de uma rede em malha permite que todos os nós da rede estejam em uma mesma hierarquia, não havendo a existência de um servidor que a administre.

Uma rede em malha ou rede *mesh* é composta por nós que utilizam o serviço oferecido – os clientes – e por nós encarregados de fornecer ou repassar as informações que atenderão os clientes da rede – os *Access Points* (APs), também classificados como roteadores. Os roteadores possuem tecnologia para transmitir em múltiplos canais de radiotransmissão, são interligados a outros dispositivos semelhantes, organizados em uma topologia e são responsáveis por realizar a comunicação dos clientes à rede. Existe um tipo específico de AP e que forma a conexão de uma rede externa com a rede *mesh*, fornecendo-a conexão com a Internet – os *gateways*.

Devido a isso, o acesso à Internet em localidades que não possuem infraestrutura necessária para ser diretamente alimentada por uma rede cabeada foi facilitado, tornando disponível a utilização de aplicações Web voltadas para viabilizar a comunicação de lugares remotos com os grandes centros. Tal fato veio ao encontro do avanço tecnológico dos equipamentos computacionais e do aumento das taxas de transmissão, a utilização de serviços multimídia (áudio e vídeo) sofreu um crescimento, como o caso da telefonia e televisão. No entanto, informações multimídia necessitam de grande quantidade de pacotes de dados e de maior rapidez em seu atendimento, por serem informações sensíveis a atrasos.

Para medir se uma rede é capaz de atender um tráfego de dados, são adotados alguns parâmetros, cujo objetivo é aferir se a rede apresenta um nível de desempenho desejado – os parâmetros de qualidade de serviço (QoS), cujos os principais são: taxa de transmissão, atraso, taxa de atraso (*jitter*), perda de pacotes, dentre outros. A métrica de parâmetros de QoS fez com que algumas técnicas fossem utilizadas para satisfazer os clientes que dela usufruem, de modo a influenciar de modo decisivo no planejamento da rede, indicando a necessidade da rede sofrer alguns ajustes em sua topologia.

Este trabalho foca no problema que consiste em encontrar uma topologia para a rede que atenda a todos os clientes dentro de parâmetros de qualidade de serviço

previamente definidos, ao menor custo. Pretende-se determinar uma configuração da rede *mesh*, com a menor quantidade de APs possível de tal forma que todos os clientes da rede estejam cobertos e alguns parâmetros de QoS sejam satisfeitos. A cobertura de todos os clientes e o atendimento aos parâmetros de QoS são objetivos essenciais, ou seja, devem ser necessariamente alcançados, com o menor número de APs possível.

A partir da escolha arbitrária dos *gateways*, inicia-se a atribuição dos roteadores que comporão a topologia inicial necessária para que todos os clientes estejam cobertos por um roteador. Em seguida, utilizando o algoritmo de simulação Monte Carlo, determina-se a taxa atual de perda de pacotes e o *throughput*. Caso os valores dos parâmetros de QoS fornecidos pelo algoritmo sejam maiores do que a taxa tolerada que se espera atingir, a topologia da rede deve ser alterada de modo a incluir novos APs. Caso os APs inclusos não contribuam para a melhoria da qualidade da rede, implica na retirada deles da estrutura da rede.

O trabalho está estruturado da seguinte maneira: a Seção 2 enumera os principais trabalhos referentes às características, planejamento e medição de parâmetros de QoS em uma rede *mesh*. A Seção 3 mostra o algoritmo de planejamento da rede *mesh* utilizando a simulação Monte Carlo para avaliar a probabilidade de perda de pacotes e o *throughput* durante o tráfego de informações na rede. Na Seção 4, são apresentados alguns resultados da aplicação do algoritmo em um planejamento de rede a ser instalada em um bairro residencial. As conclusões do trabalho são encontradas na Seção 5.

2. Trabalhos Relacionados

Em Akyldiz et al. (2005), encontra-se um panorama geral das principais definições, características e aplicações de redes *mesh* sem fio. A Figura 1 ilustra um exemplo de uma rede *mesh*, que são redes onde os principais componentes são equipamentos conhecidos como pontos de acesso ou APs e equipamentos clientes. Os APs podem ser classificados como roteadores ou como *gateways*. Os APs possuem várias interfaces de rede e se comunicam para manter a conectividade da rede. Possuem uma potência de transmissão pequena e, em geral, utilizam a tecnologia multissalto, que transmite a informação desejada de AP a AP até alcançar o cliente desejado. Já os *gateways* são APs conectados à rede cabeada e fornecem o acesso à Internet para toda a rede, permitindo também que uma rede *mesh* possa ser integrada a outras redes sem fio. Os clientes são equipamentos que possuem apenas uma interface de rede e podem demandar acesso à Internet e, em alguns casos, podem trabalhar como roteadores.

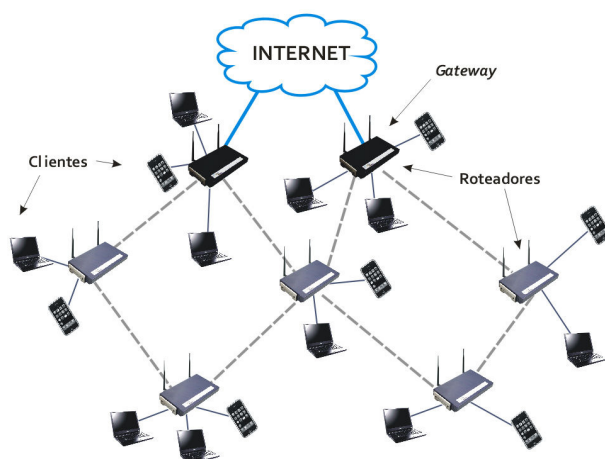


Figura 1 – Rede em malha

Várias classes de consumidores vêm adotando e instalando redes *mesh* em residências, edifícios, universidades, empresas, estabelecimentos comerciais e em meios de transporte. Em Lee et al. (2006), a tecnologia em malha sem fio possibilita que redes possam ser constituídas em áreas cuja cobertura seja grande, onde é difícil a instalação de cabos condutores e em locais que se encontram em situação de emergência. Os padrões adotados para redes sem fio em malha são basicamente distinguidos em três tipos – o padrão IEEE 802.16a, que abrange as redes WiMAX, o IEEE 802.11s, mais conhecidas como redes Wi-Fi e o IEEE 802.15.5, que correspondem às redes ZigBee.

Cabral e Mateus (2009) mostram que as redes *mesh* são uma abordagem interessante na tecnologia de redes de computadores, pelo fato de possibilitarem a comunicação entre redes cabeadas com roteadores sem fio, a fim de atender simultaneamente clientes fixos e móveis.

2.1. Planejamento de Redes Mesh

O principal objetivo de um planejamento de redes *mesh* é atender todos os clientes da melhor maneira possível, de forma a determinar o número e a localização de APs necessários para prover a cobertura desejada e quais destes APs serão os *gateways*.

Sen e Raman (2007) tratam o planejamento de redes *mesh* para um conjunto de vilas que devem ser equipadas com conectividade de rede de um determinado nó fixo. O objetivo é determinar o custo mínimo, a fim de atender às condições de *throughput*, potência e interferência no enlace entre nós. No problema, são adotadas como variáveis a topologia de rede multissalto (layout), altura da antena – ambas afetam o custo do sistema – e o tipo de antena e suas orientações e a potência de transmissão no sistema – que afetam toda a performance da rede.

O planejamento proposto por Badia et al. (2009) parte de um grafo onde os roteadores são vértices e as respectivas ligações as arestas. O objetivo é pesquisar conjuntamente o roteamento e a atribuição na entrega de um pacote de dados de um nó da rede a outro determinado nó, de acordo com as condições de fluxo, compatibilidade e interferência que são encontradas na rede.

Em Amaldi et al. (2008), o planejamento é representado por um modelo de programação linear inteira e visa minimizar o custo total de instalação, otimizar o número e os locais de roteadores e *gateways* e a atribuição de canal, levando-se em conta ambos os requisitos de localização e de conectividade multissalto.

Cabral (2008) define o planejamento em determinar a quantidade de recursos necessários para atender à demanda estimada para os clientes, levando em conta a topologia da rede, mobilidade, modelo de tráfego, custo e capacidade por meio de um modelo de programação matemática que visa encontrar a topologia ótima para um conjunto fixo de clientes, roteadores e *gateways*, minimizando a soma de custos de instalação e dos enlaces entre clientes e roteadores para atender às demandas dos clientes e garantir que o modelo atenda às demandas exigidas pelos clientes, de acordo com as limitações de roteadores, interfaces e enlaces disponíveis.

Em Benyamina et al. (2009), o planejamento de redes *mesh* é feito por meio de um grafo que representa uma malha que enumera quais são os APs que deverão atender aos clientes da rede, visando a possíveis falhas de um dos APs, a ponto de não

comprometer o funcionamento do restante da rede. Para isto, é proposto um problema de programação matemática inteira e biobjetiva. Além disto, o parâmetro de QoS a ser atendido é o de perda de pacotes.

2.2. QoS em Redes *Mesh*

Abelem et al. (2007) destacam que a qualidade de serviço (QoS) da rede é a capacidade da rede de oferecer garantias de serviço para determinados tipos de tráfego, como dados simples ou multimídia (áudio e vídeo). Neste trabalho, são enumeradas as principais características de QoS em uma rede *mesh*, como métricas que são adotadas para medir quão boa está a rede, através de critérios estabelecidos para atender certas demandas. As medidas de desempenho são aplicadas, principalmente, para atender demandas de pacotes multimídia.

Hilário et al. (2007) apresentam alguns protocolos de comunicação em redes *ad hoc*, onde não há a necessidade de um nó centralizador e todos os nós estão em um mesmo nível hierárquico, assim como em uma rede *mesh*, pois são importantes para o estabelecimento dos parâmetros de QoS na rede.

Silva e Albuquerque (2009) mostram a priorização de pacotes de áudio sobre uma rede *mesh*. O trabalho destaca três parâmetros para avaliar a qualidade da rede – perda de pacote, atraso e *jitter*. As redes *mesh* são consideradas como redes IP do padrão IEEE 802.11 e são baseadas no modelo de melhor esforço (*best efforts*), ou seja, realiza o melhor esforço para transportar o pacote de dados o mais rápido possível, mas não oferece garantia em relação a atraso. Outro fator desfavorável é que redes IP costumam trafegar dados onde o atraso não influencia na qualidade, além de possíveis interferências devido à proximidade de outros dispositivos que não compõem a rede.

2.3. Simulação Monte Carlo

Larson e Odoni (1981) definem simulação como procedimentos experimentais aplicados sobre um modelo matemático computacional por meio de estímulos externos ou demandas aplicadas sobre o sistema, fazendo com que o seu comportamento seja avaliado em um certo período. A utilização de uma simulação para a resolução de um problema surge a partir das suas principais vantagens, tais como:

- Apresenta uma solução para problemas matematicamente intratáveis;
- Fornece dados mais detalhados do que outras técnicas para modelos matematicamente tratáveis;
- Oferece resultados com esforço computacional menor;
- Em alguns casos, sua aplicabilidade em situações reais torna-se mais viável.

Em Rubinstein e Kroese (2008), há um levantamento em torno de uma das principais técnicas de simulação existentes – a Monte Carlo. Pela ocorrência de eventos que se comportam de acordo com distribuições probabilísticas, é possível extrair medidas em um modelo real cuja complexidade, em outras técnicas seja alta. Um exemplo é a aplicação de simulação em uma cadeia markoviana, onde são extraídos os valores das probabilidades-limite através de métodos iterativos.

Atkinson et al. (2008) elaboraram um algoritmo de simulação Monte Carlo com base em um sistema de atendimento emergencial, onde a solução analítica é obtida por meio de um sistema que cresce exponencialmente de acordo com a quantidade de servidores. Neste caso, a simulação é aplicada para a verificação do comportamento de todo o sistema, através de chamadas pseudoaleatórias. A extração dos parâmetros de avaliação do sistema é feita por meio de frequência relativa dos dados.

Considerando que um AP pode ser um servidor para um grupo de clientes que demandam serviço para os APs, é possível adequar a simulação Monte Carlo baseada no modelo hipercubo no planejamento de redes *mesh*. O objetivo principal é avaliar a qualidade da rede, como a probabilidade de perda de pacotes de dados. A partir da probabilidade de perda, é possível obter os valores de *throughput* da rede [Atkinson et al., 2008]. A vantagem de utilizar a simulação Monte Carlo para a verificação dos parâmetros de QoS neste problema é a possibilidade de ajustar o comprimento das filas de uma maneira que não altera no tamanho do modelo.

3. Algoritmo Proposto

Seja um conjunto $P = \{1, 2, \dots, n\}$ de locais pré-fixados onde poderão ser instalados os APs e um conjunto $C = \{1, 2, \dots, m\}$ de clientes fixos que irão se conectar à rede. Os clientes e os APs são representados por pontos (x, y) de um sistema de coordenadas no plano cartesiano.

Uma solução viável para o problema de planejamento da rede é construída a partir de uma topologia construída inicialmente. Para a construção desta topologia inicial, dados os *gateways* que comporão a rede, outros APs (que serão os roteadores) são incluídos paulatinamente. A cada passo, escolhe-se apenas um AP que pertença à área de cobertura da topologia parcial corrente e que cobre a maior demanda de clientes ainda não cobertos. Este processo é repetido até que todos os clientes estejam cobertos na rede.

Definida a topologia inicial da rede, inicia-se a verificação dos parâmetros de QoS obtidos pela topologia atual da rede, ou seja, se o serviço oferecido pela rede é satisfatório. Se os valores encontrados para os parâmetros de QoS não se adequarem aos estabelecidos para a qualidade de serviço, a rede não atende às especificações de qualidade e são feitas alterações na rede.

Considera-se que o tráfego na rede possua taxas de chegada de pacotes em um AP e de atendimento de um caminho de APs a clientes conectados a ele. As taxas de chegada podem ser aproximadas por um processo de Poisson. As três taxas se distinguem devido ao fato das informações de áudio e vídeo possuam maior prioridade em seu atendimento. Cada cliente demanda serviço com taxas λ_{di} para dados, λ_{ai} para áudio e λ_{vi} para vídeo, com $i \in C$.

As taxas de atendimento μ_j , com $j \in P$, possuem um comportamento aproximado de uma distribuição exponencial. Neste caso, cada AP possui apenas uma memória de armazenamento, considerando-se que exista apenas uma fila de atendimento, independente do tipo de dados que trafega na rede.

Seja $u = (u_1, u_2, \dots, u_n)$ o vetor que representa o estado em que se encontram os n pontos candidatos a APs. Cada roteador, devido ao seu estado de trabalho, pode estar disponível para atender a um cliente ou, no momento em que chega uma requisição da

rede, pode estar ocupado para o atendimento de outro cliente, permitindo que a requisição entre na fila ou, caso a fila esteja cheia, então a requisição é perdida. Na simulação, admite-se que u_i é igual a um número correspondente a quantidade de pacotes existentes nos buffers dos APs e que pertença ao conjunto $\{0, 1, \dots, c\}$, onde c é o número máximo de pacotes que podem ser inclusos na fila de atendimento de cada AP.

Para evitar um grande esforço computacional provocado pela utilização de métodos analíticos e de outras técnicas, foi adotada a simulação Monte Carlo [Atkinson et al., 2008]. A diferença é que o algoritmo aplicado neste trabalho considera que um servidor (AP) possa atender a vários clientes ao invés de apenas duas estações ou átomos, além de cada cliente demandar três tipos de taxas distintas correspondentes à cada tipo de dados e uma requisição entra na fila de todos os APs que compõem o trajeto que a informação necessita percorrer até o *gateway* que fornece o sinal externo.

A utilização da simulação Monte Carlo torna simples a obtenção das medidas de desempenho da rede, mesmo considerando a interdependência dos APs em malha, ou seja, o fato de que um AP, além de atender à demanda de seus clientes, também atende à demanda vinda de outros APs. Uma alternativa para isso é utilizar uma formulação de Programação Matemática [Benyamina et. al, 2009], cuja solução é muito difícil devido ao problema ser multiobjetivo e requerer variáveis de decisão inteiras.

A simulação Monte Carlo em uma rede *mesh* consiste nos seguintes passos:

1) Definição dos valores iniciais, dados os valores de λ_d , λ_a , λ_v e μ :

$k = 0$ (instante de tempo ou época); $u^{(k)} = (0, 0, 0, \dots, 0)$;

$\gamma_x^{(k)} = 0$ (chamadas do tipo x que entraram no sistema até o instante k);

$\gamma_{x,loss}^{(k)} = 0$ (chamadas perdidas no sistema até o instante k);

$\Theta^{(k)} = 0$ (valor total de serviços de todas as chamadas até o instante k);

$\Lambda = \sum_i (\lambda_{di} + \lambda_{ai} + \lambda_{vi})$ (somatória de todas as taxas de demanda do sistema)

2) Obter a variável aleatória ω na distribuição uniforme no intervalo $[0, 1]$

3) Se $\omega < \frac{\Lambda}{\Lambda + \Theta^{(k)}}$, então $\gamma_x^{(k+1)} = \gamma_x^{(k)} + 1$, sendo que x pode ser dados, vídeo ou

áudio. Simular aleatoriamente $\sigma \in C$ e x com probabilidade $\frac{\lambda_{x\sigma}}{\Lambda}$.

Se $u_\sigma^{(k)} \leq c$, então a requisição entra na fila, $u_\sigma^{(k+1)} = u_\sigma^{(k)} + 1$ e $u_y^{(k+1)} = u_y^{(k)} + 1$, para todo $y \in P$ que faça parte do caminho de σ até o *gateway* da rota de atendimento.

Caso contrário, o pacote é perdido, $u_\sigma^{(k+1)} = u_\sigma^{(k)}$ e $\gamma_{x,loss}^{(k+1)} = \gamma_{x,loss}^{(k)} + 1$, para o tipo de informação escolhida.

4) Se $\omega > \frac{\Lambda}{\Lambda + \Theta^{(k)}}$, então $\gamma^{(k+1)} = \gamma^{(k)}$. Simular aleatoriamente $\delta \in P$, com probabilidade

$\frac{\theta_\delta^{(k)}}{\Theta^{(k)}}$, sendo que $\theta_\delta^{(k)} = 0$ se $u_\delta^{(k)} = 0$, e $\theta_\delta^{(k)} = \mu_i$, se $u_\delta^{(k)} > 0$. Então, $u_\delta^{(k+1)} = u_\delta^{(k)} - 1$ e

$u_y^{(k+1)} = u_y^{(k)} - 1$, para todo $y \in P$ que faça parte do caminho de δ até o *gateway* da rota de atendimento.

5) Se $u_j^{(k+1)} > 0$, para um $j \in P$, então $\Theta^{(k+1)} = \sum_{i:u_i=1} \mu_i$ e repita o passo 2 até N iterações.

Terminada a simulação, encontra-se a estimativa, $\gamma_x = \gamma_x^{(k+1)}$ e $\gamma_{x,loss} = \gamma_{x,loss}^{(k+1)}$, e $p_{x,loss}^{(k+1)} = \frac{\gamma_{x,loss}^{(k+1)}}{\gamma_x^{(k+1)}}$, sendo que x representa todo o tipo de informação.

O cálculo da probabilidade de perda dos tipos de informação é gerado a partir da média aritmética das execuções feitas na simulação.

$$p_{x,loss} = \frac{\sum_{i=0}^N p_{x,loss}^{(i)}}{N}$$

O *throughput* da rede é definido a partir do cálculo da probabilidade de perda e pode ser aproximado de acordo com a equação matemática [Atkinson et. a, 2008]:

$$\Lambda_{serv} = (1 - p_{loss}) \sum_x \sum_i \lambda_{xi},$$

sendo que x corresponde ao tipo de informação e $i \in C$.

Concluída a simulação, os valores obtidos das probabilidades de perda para cada tipo de dados e de *throughput* são comparados com os valores esperados de QoS para a rede. Se os valores desses parâmetros forem atingidos, então a topologia atual da rede é considerada satisfatória e a execução do algoritmo é concluída.

Senão, a topologia sofre alteração com a inclusão de um AP, escolhido dentre todos os candidatos cuja demanda máxima existente em seu raio de cobertura é a maior. Em seguida, é executada novamente a atribuição dos clientes e a simulação, e esse processo é repetido, até que o valor de *throughput* obtido seja maior que o desejado.

Em suma, os passos adotados para encontrar a topologia da rede que atenderá aos requisitos de qualidade de serviço segue de acordo com a Figura 2.

```

Atribui os gateways de forma arbitrária
Atribui clientes já cobertos pelos gateways
repita
  Insere o candidato coberto por um AP ativo que cobre maior número de clientes órfãos
  Atribui clientes mais próximos a APs ativos
até todos os clientes estiverem cobertos
Rede_valida = FALSO
repita
  Aplica simulação Monte Carlo
  se ( $p_{loss} < p_{esperado}$ ) então
    Rede_valida = VERDADEIRO
  senão
    Verifica AP com maior demanda
    Inclui um novo AP dentro do raio de cobertura
  fim
até (Rede_valida = VERDADEIRO) //para todo tipo de dados

```

Figura 2 – Pseudocódigo do algoritmo

4. Resultados

O algoritmo foi aplicado com o intuito de instalar uma rede em malha sem fio em um bairro residencial compreendido em uma área de 500×500 m, contendo 25 pontos candidatos a serem APs e 80 clientes espalhados ao longo desta área (Figura 3). É atribuído um *gateway* para o fornecimento de Internet para a rede.

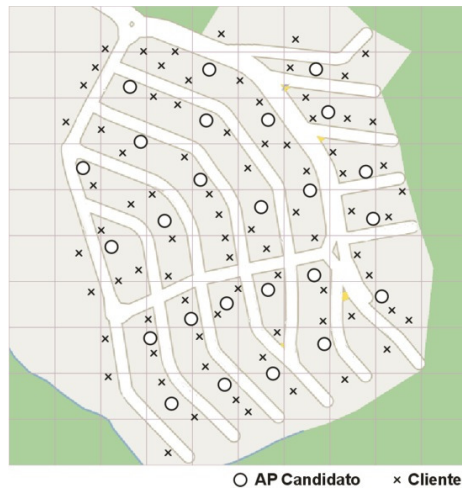


Figura 3 – Posicionamento de candidatos a APs e clientes no residencial

Todos os APs utilizados são iguais e utilizam a mesma especificação IEEE 802.11 e a mesma capacidade de armazenamento de *buffer*, além de possuírem o raio de cobertura de até 125 metros omnidirecionalmente e capacidade de armazenamento em *buffer* de até 300 pacotes.

O *gateway* é escolhido de forma arbitrária, ou seja, escolheu-se o ponto mais próximo da entrada do residencial. A partir disto, é feita a varredura em busca do ponto candidato dentro da cobertura parcial que contenha a maior demanda máxima, ou seja, o ponto que abriga a maior demanda possível dentro da sua área de cobertura. Com isso, obtém-se a cobertura necessária para que a rede cubra todos os clientes (Figura 4).

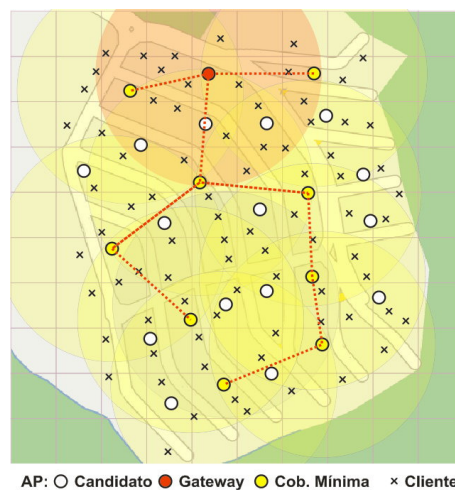


Figura 4 – Atribuição dos APs para cobertura mínima da rede

Admitindo que o *throughput* desejado seja de, no mínimo, 9 clientes/s, aplicou-se 10 vezes a simulação Monte Carlo com 2000000 épocas cada e foram extraídos os valores de probabilidade de perda de pacotes, do *throughput* e da quantidade total de pacotes trafegados e perdidos.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos em um cenário em que as taxas de atendimento de todos os APs são de 2 Mbps e que as taxas de demanda dos clientes estão entre 0 e 384 kbps por cliente, geradas de forma aleatória e distribuídas proporcionalmente em até 15% para dados, 35% para áudio e 50% para vídeo.

Tabela 1 – Resultados obtidos para demanda de até 384 kbps/cliente

Nº APs	Dados		Áudio		Vídeo		Pacotes	
	p_{loss}	Λ_{serv}	p_{loss}	Λ_{serv}	p_{loss}	Λ_{serv}	Enviados	Perdidos
10	0.130019	1.383794	0.131661	2.988000	0.132367	4.015876	9700267	1277822
11	0.000000	1.590500	0.000000	3.441300	0.000000	4.628501	7955386	0

Em duas iterações, o algoritmo encontrou uma topologia que atende aos parâmetros de qualidade para este cenário, conforme ilustra a Figura 5, tendo incluído um único AP em sua topologia, o qual está representado na cor cinza.

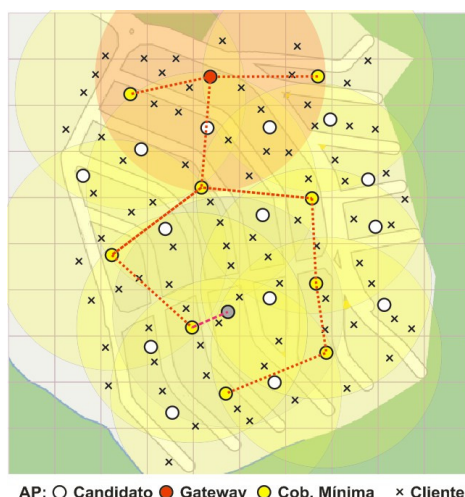


Figura 5 – Topologia encontrada para demanda de até 384 kbps/cliente

Aplicando o algoritmo em um outro cenário, a demanda máxima por cliente foi acrescida para até 512 kbps. Com isto, o algoritmo necessitou de mais iterações para encontrar uma topologia satisfatória, conforme apresenta a Tabela 2. Neste caso, o *throughput* mínimo é de 20 clientes/s.

Tabela 2 – Resultados obtidos para demanda de até 512 kbps/cliente

Nº APs	Dados		Áudio		Vídeo		Pacotes	
	p_{loss}	Λ_{serv}	p_{loss}	Λ_{serv}	p_{loss}	Λ_{serv}	Enviados	Perdidos
10	0.631105	1.254279	0.631106	2.577046	0.635832	3.636494	12708636	8049968
11	0.401389	2.035011	0.401705	4.177557	0.401341	5.976543	11195866	4494864
12	0.403425	2.028070	0.403892	4.162294	0.403828	5.951711	11047413	4460822
12*	0.236461	2.595640	0.235610	5.337336	0.235732	7.629881	10268381	2421424

13	0.234950	2.600813	0.234558	5.344736	0.234691	7.640317	10007780	2348731
13*	0.235538	2.598817	0.235223	5.340076	0.235316	7.634052	10105218	2378009
13*	0.114897	3.009001	0.114694	6.181710	0.112891	8.856358	9308041	1059703
14	0.115404	3.007117	0.115417	6.176669	0.113569	8.849503	9246595	1058875
14*	0.003129	3.388868	0.003222	6.960001	0.003189	9.951466	8872925	28307

(*) Exclusão de AP

Pela Figura 6 e Tabela 2, nota-se que houve a retirada de APs que, uma vez incluídos na topologia em uma das iterações, não ofereceram alterações satisfatórias para reduzir a perda de pacotes na rede, o que fez com que fossem retirados na iteração posterior. Em alguns destes casos, houve até um aumento na perda de pacotes na rede, provocado por uma maior carga de trabalho sobre uma determinada ramificação, o que não é interessante no ponto de vista de economia na aquisição e instalação dos APs.

Neste cenário, como a demanda é maior, então o *throughput* tende a ser maior e, conseqüentemente, o número de iterações para encontrar uma topologia que atenda a ambos os parâmetros de QoS tende a aumentar.

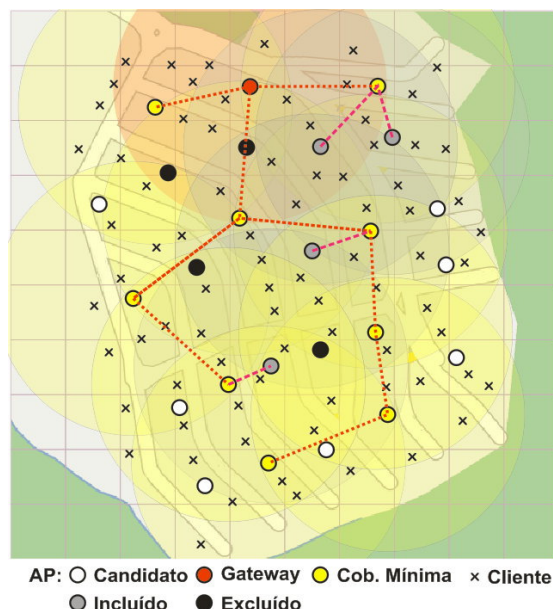


Figura 6 – Topologia encontrada para demanda de até 512 kbps/cliente

5. Conclusão

As redes *mesh* oferecem maior comodidade para usuários que utilizam serviços de Internet sem fio, pois é possível acessá-las em uma área mais abrangente, podendo integrar em uma mesma rede uma determinada localidade industrial, comercial, residencial ou rural. O custo de uma rede *mesh* não é elevado, o que atrai ainda mais clientes que buscam uma tecnologia barata e eficiente para a instalação de uma rede em uma área de cobertura ampla.

Porém, por ser uma abordagem nova, existem dificuldades para a instalação e manutenção da rede. Os estudos de QoS em redes *mesh* ainda necessita de um aprofundamento, já que serviços multimídia na Internet estão sendo cada vez mais utilizados. Mas já existem avanços na aplicação de redes em malha, pois é um tema que

vem crescendo no meio científico e que está sendo trabalhado por universidades e instituições de pesquisa.

Futuramente, deverão ser avaliados outros parâmetros de QoS, como atraso, transmissão e *jitter*, além de ser considerados possíveis problemas encontrados na rede, como interferência entre os APs ou uma possível queda de energia.

Referências

- Akyildiz, I. F.; Wang, X.; Wang, W. (2005), Wireless mesh networks: a survey. *Computer Networks*, vol. 47, pp. 445-487.
- Amaldi, E.; Capone, A.; Cesana, M.; Filippini, I.; Malucelli, F. (2008), Optimization Models and Methods for Planning Wireless Mesh Networks. *Computer Networks*, vol. 52, pp. 2159-2171.
- Atkinson, J. B.; Kovalenko, I. N.; Kuznetsov, N.; Mykhalevych, K. V. (2006) Heuristic methods for the analysis of a queueing system describing emergency medical service deployed along a highway. *Cybernetics and Systems Analysis*, vol. 42, no. 3, pp. 379-391.
- _____. (2008), A hypercube queueing loss model with customer-dependent service rates. *European Journal of Operational Research*, vol. 191, pp. 223-239.
- Badia, L.; Botta, A.; Lenzini, L. (2008) A genetic approach to joint routing and link scheduling for wireless mesh networks. *Ad Hoc Networks*. Vol. 7, pp. 654-664.
- Benyamina, D.; Hafid, A.; Gendreau, M. (2009) On the Design of Bi-connected Wireless Mesh Network Infrastructure with QoS Constraints. *Proceedings of the 28th IEEE conference on Global telecommunications*. Honolulu.
- Cabral, G. A. (2008) Uma arquitetura para otimização do acesso à Internet em redes em malha sem fio. *Dissertação de Mestrado*. Belo Horizonte, UFMG.
- Cabral, G. A.; Mateus, G. R. (2009), Uma abordagem baseada em simulação para o planejamento de redes em malha sem fio. *Anais da XLI SBPO*, pp. 2157-2168.
- Hilario, L. E. N.; Silva, R. H.; Leite, J. C. B.; Albuquerque, C. V. N. (2007) QoS Mesh – Qualidade de Serviço em Redes Mesh. In: *XXXIII Conferência Latinoamericana de Informática*, San José, Costa Rica.
- Larson, R. C.; Odoni, A. R. (1981), *Urban Operations Research*. Prentice Hall: Englewood Cliffs. New Jersey.
- Lee, M. J.; Zheng, J.; Ko, Y. B.; Shrestha, D. M. (2006) Emerging Standards for Wireless Mesh Technology. *IEEE Wireless Communications*, pp. 56-63.
- Sen, S.; Raman, B. (2007), Long Distance Wireless Mesh Network Planning: Problem Formulation and Solution. *WWW '07: Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web*, New York, pp. 893-902.
- Silva, C. R.; Albuquerque, C. V. N. (2009) Priorização de chamadas de voz em redes em malha sem fio. *XXVII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações*.