

# AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE APLICAÇÕES DE VOZ SUBMETIDAS A *HANDOVER* ENTRE REDES WI-FI E WIMAX

## PERFORMANCE EVALUATION OF VOICE APPLICATION SUBMITTED TO HANDOVER BETWEEN WIFI AND WIMAX

Anderson S. F. da Silva  
andersonsfs@gmail.com

Sávio R. A. A. Silva  
savio.roberto@gmail.com

Ricardo J. P. de B. Salgueiro  
salgueiro@ufs.br

Edilayne M. Salgueiro  
edilayne@ufs.br

Departamento de Computação – Universidade Federal de Sergipe (UFS)  
São Cristóvão – SE, Brasil.

**Abstract:** Large-scale sporting events such as the World Cup and Olympics are characterized by intense use of mobile devices. The availability of different network technologies allows users to select the network that offers better benefits to their applications. Providers of Information and Communication Technologies (ICT) can reduce costs and add value to VoIP service, by adapting the new services to available network infrastructure. This article conduct a performance analysis of vertical handover on VoIP services, using IEEE 802.21 capabilities, in Wi-Fi and WiMAX scenarios. Handover delay and packet loss are adopted as metrics. The simulation results showed that handover delay and packet loss for both networks did not exceed the acceptable limit for VoIP applications. The impact of these results show that VoIP services integrated with efficient handover can increase the value of ICT services.

**Keywords:** Heterogeneous Networks; Vertical Handover; IEEE 802.21.

**Resumo:** Eventos esportivos em grande escala, como a Copa do Mundo e Olimpíadas são caracterizados pela intensa utilização de dispositivos móveis. A disponibilidade de diferentes tecnologias de redes permite aos usuários selecionar a rede que ofereça melhores benefícios às suas aplicações. Provedores de Tecnologias de Informação e Comunicação (TIC) podem diminuir custos e agregar valores de estima a serviços VoIP, através da adaptação dos novos serviços a infraestrutura de rede disponível. Este artigo tem como objetivo realizar a análise de desempenho de handover vertical em serviços VoIP, utilizando os recursos do padrão IEEE 802.21, em um cenário composto por redes Wi-Fi e WiMAX. São utilizadas

como métricas o atraso do handover e a perda de pacotes. Os resultados de simulação mostraram que atraso de handover para ambas as redes e a perda de pacotes não ultrapassaram o limite aceitável para aplicações VoIP. O impacto desses resultados de desempenho demonstram que a adoção de serviços VoIP eficientes integrados a serviços de handover podem aumentar o valor agregado dos serviços de TIC.

**Palavras-chave:** Redes Heterogêneas; Handover Vertical; IEEE 802.21.

### 1 INTRODUÇÃO

Com a iminência da Copa do Mundo de Futebol e das Olimpíadas que serão realizadas no Brasil em 2014 e 2016, respectivamente, o governo brasileiro tem investido na infraestrutura de TIC (Tecnologias de Informação e Comunicação) para atender à demanda de serviços que deverão ser prestados aos espectadores desses eventos. Os eventos esportivos no Brasil serão caracterizados pela mobilidade, com intensa utilização de dispositivos móveis inteligentes (celulares, *smartphones*, *tablets*, entre outros), que são responsáveis por altos volumes de tráfego de dados (GIL, 2011). Os provedores de TIC podem agregar valor aos seus serviços, através da diminuição de custos na oferta de novos serviços que aproveitem a infraestrutura já disponível, também por meio do aumento do valor de estima, fazendo uso da variedade de tecnologias já disponíveis nos equipamentos dos usuários e ainda aumentando o ganho dos usuários com serviços

eficientes que atendam parâmetros pré-estabelecidos de qualidade de serviço - QoS (*Quality of Service*). A avaliação de desempenho desses sistemas é uma ferramenta imprescindível para a escolha e tomada de decisão sobre quais tecnologias aumentam o valor agregado dos serviços de TIC.

Os serviços de Voz sobre IP (VoIP - *Voice over IP*) são caracterizados pela utilização da Internet, com tecnologia TCP/IP, para realizar chamadas de voz, ao invés da rede de telefônica tradicional. Dentre as suas vantagens estão a de menor custo das chamadas, aproveitamento de recursos existentes da rede TCP/IP já instalada, além do aspecto de mobilidade, permitindo acesso em qualquer lugar desde que se esteja conectado à Internet. Atualmente, com o crescente uso de *smartphones*, já é possível que os usuários realizem chamadas de voz e com vídeo de forma gratuita, fazendo uso da rede Wi-Fi, por exemplo. Isto reduz substancialmente os custos associados a ligações de longa distância (DDD/DDI) feitas pela rede telefônica convencional, considerando que a maior parte do público presente nos eventos será proveniente de outros países ou de outros estados. Também reduz custos com serviços de *roaming* da rede de telefonia celular. Desta forma, o uso de aplicações VoIP pode resultar em ganhos importantes aos usuários no que se refere à cobertura dos eventos esportivos.

Atualmente, observa-se uma grande diversidade de tecnologias de redes sem fio. O Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi, WiMAX e as redes celulares 3G são exemplos de redes sem fio consolidadas. Vários dispositivos como *notebooks*, *tablets* e *smartphones* já vêm equipados com mais de uma interface de rede para disponibilizar mais de um tipo de rede sem fio. Usuários altamente móveis, isto é, que constantemente estão mudando de localização, desejam estar sempre conectados a uma rede e manter suas aplicações funcionando enquanto eles estão se deslocando entre vários lugares. Em ambientes onde há diversas tecnologias de acesso surge o conceito *Always Best Connected* (ABC) (GUSTAFSSON e JONSSON, 2003), o qual se refere a um terminal móvel estar sempre conectado à melhor rede candidata, ou seja, a que melhor atenda às suas necessidades. Esta característica pode agregar um maior valor de estima por parte de usuários das diversas delegações estrangeiras aos serviços de TIC que rapidamente se adaptam aos dispositivos e infraestrutura disponíveis nas áreas dos eventos.

Devido à mobilidade e possível migração entre tecnologias, o dispositivo móvel deve antes se desassociar de uma rede para conectar-se a outra. Esse fenômeno é conhecido como *handover* ou *handoff*. Um dos maiores desafios no gerenciamento de *handover* nestes ambientes heterogêneos é a de fazer com que o *handover* seja realizado de forma imperceptível ao usuário. O padrão IEEE 802.21 (*Media Independent Handover* - MIH) propõe mecanismos para gerenciar o processo de *handover*, de tal forma que estes sejam imperceptíveis aos usuários, mantendo as aplicações que estavam em execução correntemente e liberando os usuários de qualquer configuração de interface de rede. Para verificar o ganho com a implementação de serviços de *handover* é necessário então avaliar o impacto da implementação desse serviço sobre as tecnologias comumente disponíveis nas áreas em torno dos grandes eventos esportivos, assim como nas proximidades dos aeroportos, *shoppings*, hotéis e principais pontos turísticos.

Este artigo tem como objetivo realizar uma análise de desempenho de *handover* vertical em serviços VoIP, utilizando os recursos do padrão IEEE 802.21 em um cenário composto por redes Wi-Fi e WiMAX. O padrão IEEE 802.21 dá suporte a diversas tecnologias inclusive aquelas que não se baseiam nos padrões IEEE, como o caso das redes celulares. A próxima seção descreve as principais características das tecnologias disponíveis em redes heterogêneas, bem como uma visão geral deste padrão. Na seção 3 são discutidos trabalhos encontrados na literatura que exploram cenários de *handover* em redes heterogêneas. Feito isto, a metodologia de avaliação de desempenho é apresentada na seção 4. Após discutir os resultados obtidos, na seção 5 são apresentadas enfim, as conclusões tiradas com a realização deste trabalho.

## 2 *HANDOVER* EM REDES HETEROGÊNEAS

Um dos objetivos das redes sem fio é liberar os seus usuários das limitações decorrentes das redes cabeadas, fornecendo-lhes o recurso da mobilidade. O crescimento das tecnologias de redes sem fio em combinação com a evolução de dispositivos móveis com múltiplas interfaces de rede tem permitido aos usuários obter acesso à Internet a partir de qualquer tecnologia de rede de acesso. O gerenciamento de *handover* é um aspecto indispensável na elaboração de soluções

nas quais envolvam essa mudança de tecnologias de forma automatizada e imperceptível para o usuário.

A Figura 1 ilustra um exemplo de disponibilidade de redes sem fio heterogêneas que podem ser exploradas por provedores de TIC para a oferta de serviços durante a Copa do Mundo de 2014. A presença de duas tecnologias distintas pode ser aproveitada por um usuário de serviço VoIP para realizar suas chamadas mesmo durante o percurso do estádio até um ponto turístico. Observe que uma tecnologia de acesso, WiMAX no exemplo hipotético, cobre toda a área ao redor do aeroporto, estádio e pontos turísticos e possivelmente hotéis da região. Além disso, nas áreas próximas em torno do estádio, aeroporto e

ponto turístico existe uma outra tecnologia de acesso, Wi-Fi neste caso. Se um usuário que estiver no estádio quiser usar seu dispositivo móvel para efetuar uma chamada VoIP, o software de VoIP pode decidir com base na qualidade do sinal recebido, no custo ou em parâmetros de QoS, optar por qual tecnologia adotar para iniciar a chamada. No caso da chamada ser iniciada através da rede Wi-Fi do estádio, por exemplo, quando o usuário se deslocar em direção ao aeroporto, ao chegar próximo ao limite de cobertura de Wi-Fi, o serviço de *handover* é acionado para executar a migração para a outra rede de acesso, sem que a chamada seja interrompida, ou sofra degradação de QoS fora de intervalos aceitáveis.

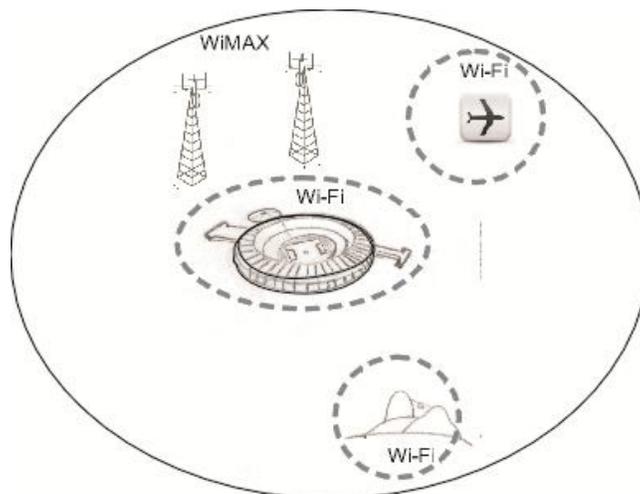


Figura 1 – Rede heterogênea com Wi-Fi e WiMAX

O processo de gerenciamento de *handover* é definido em três fases (KASSAR e outros, 2008):

1. Obtenção de Informações
2. Decisão de *Handover*
3. Execução de *Handover*

Na Fase 1, também conhecida como Fase Inicial de *Handover* ou Descoberta de Sistema, são coletadas todas as informações requeridas para identificar a necessidade de troca de conexão entre redes. Segundo (SILVA e outros, 2010), nessa fase são obtidas algumas informações como parâmetros de QoS (*Quality of Service* – Qualidade de Serviço), custo monetário, pontos de acesso alcançáveis e potência de sinal das redes

candidatas, sendo que a obtenção de tais dados advém dos critérios definidos pelos usuários, baseados na satisfação de suas necessidades.

A Fase 2 é a responsável pela tomada de decisão da realização ou não *handover*. Caso haja esta necessidade, será selecionada a rede mais adequada levando em consideração as informações provenientes da fase anterior. Esta fase também é chamada de Fase de Seleção de Sistema ou Fase de Seleção de Rede.

Na Fase 3 é realizada a mudança para a rede de acesso escolhida na fase anterior. Essa fase é responsável pela manutenção das sessões do usuário iniciadas no período anterior ao *handover*.

Existem duas modalidades de *handover*: horizontal e vertical. O *handover* horizontal é aquele que envolve as mesmas tecnologias de rede, enquanto que o *handover* vertical abrange diferentes tecnologias. Neste artigo, o *handover* vertical é considerado para a avaliação de desempenho por causa do cenário composto por redes heterogêneas.

Na literatura são encontradas diversas classes e subclasses de processos de *handover* vertical. De um modo geral o *handover* vertical pode ser classificado: quanto ao número de conexões existentes no momento de sua execução e quanto a localização do controle ou a decisão para realização do mesmo.

Quanto ao número de conexões existentes no momento de sua execução, o *handover* pode ser classificado em *hard* ou *soft*. O primeiro ocorre quando o nó móvel está conectado a apenas uma rede no momento da execução, sendo referenciado como um *handover break before make*, isto é., interrompa antes de realizar. No segundo tipo, o terminal móvel permanece conectado à rede antiga antes de associar-se à rede alvo, sendo referenciado como *make before break*, ou seja, realiza o *handover* antes de interromper a conexão antiga.

Em cenários de *handover* vertical um aspecto bastante relevante é que o processo de transição para uma nova rede de acesso seja *seamless*, ou seja, imperceptível ao usuário, de modo que não ocorra uma degradação do serviço oferecido ao mesmo e haja a preservação das aplicações que estavam em execução. Dessa forma, o *handover* deve ser rápido, ou seja, com mínimo atraso, e suave, para que se tenha mínima perda de pacotes.

Quanto a localização do controle ou a decisão para realização do *handover*, o processo de decisão pode estar situado na própria rede ou no terminal móvel. Quando somente a rede detém o controle de execução do *handover*, temos um *handover* controlado pela rede (*Network-Controlled HandOver* – NCHO). Já no caso em que tal controle é realizado pelo nó móvel, temos o chamado *handover* controlado pelo nó móvel

(*Mobile-Controlled HandOver* – MCHO). Quando as informações e medições são providas pelo terminal móvel e o controle de decisão está localizado na rede, o *handover* é referenciado como assistido pelo terminal móvel (*Mobile-Assisted Handover* – MAHO). Quando a rede fornece as informações e a decisão reside no terminal móvel, temos o chamado *handover* assistido pela rede (*Network-Assisted Handover* – NAHO) (KASSAR e outros, 2008).

Apresentados os aspectos básicos do gerenciamento de *handovers* em ambientes heterogêneos, nas próximas seções serão detalhadas as tecnologias de redes sem fio que podem estar disponíveis em tais ambientes, assim como o padrão IEEE 802.21.

## 2.1. Padrão IEEE 802.11 - Wi-Fi

Presentes no local de trabalho, em casa, em instituições educacionais, aeroportos, etc., as redes locais sem fio (WLANs – Wireless Local Area Network) são uma das mais importantes tecnologias de rede de acesso na Internet. Embora muitas tecnologias e padrões para WLANs tenham sido desenvolvidos na década de 1990, o padrão que realmente se destacou foi o padrão IEEE 802.11, também conhecido como Wi-Fi (KUROSE e ROSS, 2010).

O padrão 802.11 foi criado e é mantido pelo Comitê de Padrões IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) para LAN/MAN (IEEE 802). O padrão 802.11 original deu início a um conjunto de padrões para WLAN em diversas faixas de frequência (2,4 GHz, 3,6 GHz, 5 GHz). Dentre os principais, estão o 802.11a, 802.11b e 802.11g.

Em 1999, uma organização global sem fins lucrativos denominada Wi-Fi Alliance (WI-FI ALLIANCE, 2010) foi criada com o objetivo de adotar uma rede local sem fio de alta velocidade. A Wi-Fi Alliance é responsável pela criação da logomarca e certificação de produtos Wi-Fi. Por questões didáticas, Na Figura 1, e em e outros pontos deste artigo, uma rede que implementa esse padrão é identificada como rede Wi-Fi.

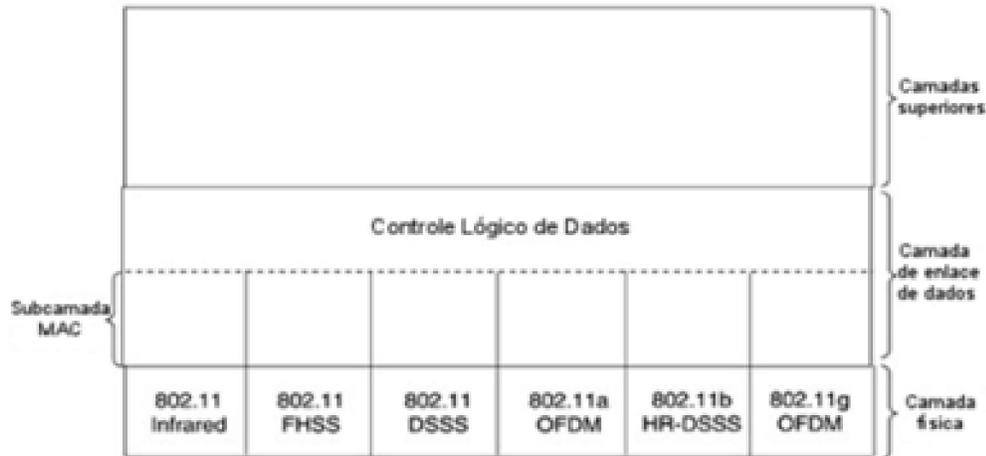


Figura 2 – Parte da pilha de protocolos do 802.11

Fonte: (TANENBAUM, 2011)

O padrão 802.11 original opera na faixa de frequência de 2,4 a 2,485 GHz, possuindo a taxa de dados variando de 1 a 2 Mbps. Utiliza como tecnologias de camada física o Infra-vermelho, FHSS ou DSSS.

A versão 802.11a chega a alcançar velocidades de 54 Mbps, operando na faixa de frequência de 5,1 a 5,8 GHz. Utiliza a técnica de transmissão OFDM. Com o aumento da frequência significa que as ondas terão uma maior dificuldade para ultrapassar paredes ou quaisquer outros obstáculos. Essa tecnologia pode ser utilizada em ambientes fechados, mas com limitações. No caso de torneios esportivos a presença de equipamentos esportivos podem limitar qualidade do serviço.

O 802.11b alcança uma velocidade de até 11 Mbps e atua na faixa de frequência de 2,4 a 2,485 GHz. Faz uso do HR-DSSS (*High Rate - Direct Sequence Spread Spectrum* – Espectro de Dispersão de Sequência Direta de Alta Taxa) como tecnologia de transmissão. Entretanto, ao se utilizar a faixa de frequência de 2,4 GHz ocasionará uma elevada interferência tanto na transmissão quanto na recepção de sinais, pois esta é a mesma faixa utilizada em diversos dispositivos como telefones móveis, fornos microondas e dispositivos *Bluetooth*.

O 802.11g faz uso da técnica de transmissão OFDM e utiliza uma faixa de frequência mais baixa se comparado aos padrões 802.11a e

802.11b, proporcionando uma melhor qualidade no sinal.

A Figura 2 representa uma visão parcial da pilha de protocolos do padrão IEEE 802.11. Como visto acima, a camada física do IEEE 802.11 assemelha-se à camada física do modelo OSI (TANENBAUM, 2011). Entretanto, a camada de enlace de dados em todos os protocolos 802 se divide em duas ou mais subcamadas. No 802.11, a subcamada MAC determina como o canal é alocado, isto é, quem terá a oportunidade de transmitir em seguida. Acima dela, encontra-se a subcamada LLC, cujo trabalho é ocultar as diferenças entre as diversas variações do 802 e torná-las indistinguíveis no que se refere à camada de rede. Já a camada física tem como funções a codificação e decodificação de sinais, recepção e transmissão de bits, dentre outras. Existem cinco técnicas de transmissão no padrão IEEE 802.11.

Existem cinco técnicas de transmissão empregadas no padrão IEEE 802.11 que possuem diferenças na tecnologia utilizada, bem como nas velocidades alcançadas. Na técnica de Infra-vermelho são permitidas duas velocidades: 1 Mbps ou 2 Mbps. Os sinais de infra-vermelho não podem atravessar paredes, o que pode ser uma vantagem quando o objetivo é limitar o alcance do sinal. Entretanto, a baixa largura de banda atrelada à alteração dos sinais de infra-vermelho pela luz solar, contribuíram para a baixa popularidade desta opção. Se considerarmos um esporte executado ao ar-livre por exemplo, com

possibilidade de variações climáticas, então essa tecnologia de acesso passa a ser restritiva.

O FHSS (*Frequency Hopping Spread Spectrum* – espectro de dispersão de saltos de frequência) faz uso de 79 canais de frequência, cada um com 1 MHz de largura, começando na extremidade baixa da banda ISM (*Industrial Scientific and Medical*) de 2,4 GHz. O FHSS também é relativamente insensível à interferência de rádio. Sua principal desvantagem é a baixa largura de banda.

O espectro de dispersão de sequência direta (*Direct Sequence Spread Spectrum* – DSSS) é um esquema de modulação por espalhamento de espectro para transmissão de sinais digitais por meio de ondas de radiofrequência, operando também a 1 Mbps ou 2 Mbps.

A modulação HR-DSSS é uma extensão da técnica DSSS desenvolvida para o padrão IEEE 802.11b, sendo geralmente referenciada como 802.11b. Esta técnica faz uso de 11 milhões de chips/s para alcançar 11 Mbps na banda de 2,4 GHz e admite as seguintes taxas de dados: 1, 2, 5,5 e 11 Mbps. A taxa de dados pode ser adaptada dinamicamente a fim de alcançar a maior velocidade possível sob as condições de carga e de ruído (TANENBAUM, 2011).

Por fim, existe a técnica Multiplexação Ortogonal por Divisão de Frequência OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) que constitui-se em um esquema de multiplexação por divisão de frequência, transmitindo até 54 Mbps. O OFDM divide um sinal em várias frequências ortogonais de banda estreita, chamadas de portadoras ou subportadoras OFDM. Devido ao fato das frequências das portadoras serem ortogonais entre si, não ocorre interferência entre elas. A largura de banda relativa a cada subportadora é bastante inferior à largura total se o sinal fosse transmitido em uma única portadora (NEE e PRASAD, 2000).

A camada MAC do 802.11 é muito similar ao conceito de rede cabeado do padrão 802.3, em que é projetado para suportar múltiplos usuários em um meio compartilhado, fazendo o transmissor “escutar” o meio antes de acessá-lo. Para LANs Ethernet do 802.3, o protocolo de enlace CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection*) regula como as estações Ethernet estabelecem acesso ao meio físico e como ela detecta e lida com colisões que ocorram quando dois ou mais dispositivos tentam se

comunicar simultaneamente na LAN. Entretanto, na WLAN 802.11 a detecção de colisões não é possível dado o problema que é conhecido como “near/far problem”: para detectar uma colisão, uma estação deve estar apta a transmitir e escutar ao mesmo tempo, mas em sistemas à rádio a transmissão torna impossível, por parte da estação, “escutar” uma colisão.

Para lidar com essa diferença, a principal tecnologia utilizada na camada de enlace do 802.11 é um protocolo modificado do CSMA/CD, chamado de CSMA/CA (*Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance*), ou seja, é o CSMA com prevenção de colisão. Devido às taxas relativamente altas de erros de bits em canais sem fio, o 802.11 (diferentemente da Ethernet) usa um esquema de reconhecimento/retransmissão (ACK) de camada de enlace.

Mesmo com a tentativa de se evitar colisões, elas ainda podem ocorrer quando duas estações que estão tentando transmitir seus quadros estão ocultas uma da outra ou ambas escolherem os mesmos valores de *backoff* aleatório. O protocolo 802.11 MAC também inclui um esquema de reserva inteligente (mas opcional) que ajuda a evitar colisões mesmo na presença de terminais ocultos. Para tanto, é permitido que uma estação utilize um quadro de controle RTS curto (*Request to Send* – solicitação de envio) e um quadro de controle CTS curto (*Clear to Send* – pronto para envio) para reservar acesso ao canal. Desta forma, quando uma estação desejar transmitir um quadro de dados, ela pode enviar primeiramente um quadro RTS ao AP (*Access Point* – Ponto de Acesso) indicando o tempo total requerido para transmissão do quadro de dados e o ACK. Quando o AP recebe o quadro RTS, responde transmitindo em *broadcast* um quadro CTS. Esse quadro CTS possui duas finalidades: dar ao remetente uma permissão explícita para enviar e instruir às outras estações a não enviar durante o tempo reservado.

É importante ressaltar que a troca RTS/CTS é utilizada, quando utilizada, apenas para reservar o canal para a transmissão de um quadro de dados longo, pois introduz atraso e consome recursos do canal.

A arquitetura de rede do 802.11 é baseada em uma arquitetura celular, onde o sistema é subdividido em células. Cada célula, chamada conjunto básico de serviço (*Basic Service Set* – BSS), é controlada por uma estação base, chamada ponto de acesso (BRENNER, 1997).

Cada ponto de acesso pode conter estações móveis associadas. Essa organização configura-se no modo infra-estrutura em que é formada uma LAN sem fio a qual é conectada a uma rede de infraestrutura, através do AP ligado a um roteador. Um BSS possui um identificador de conjunto de serviços (*Service Set Identifier* – SSID). Um AP envia periodicamente quadros em *broadcast* contendo o seu SSID, para que as estações móveis possam ficar cientes da sua presença. Conhecendo o SSID do AP, os terminais móveis podem se associar ao mesmo.

As estações IEEE 802.11 também podem formar uma rede *ad hoc*. Esta é caracterizada pela inexistência de um controle central e de uma conexão com o “mundo externo”. A rede é formada conforme a necessidade, por equipamentos móveis que, por acaso, estão próximos uns dos outros, têm a necessidade de se comunicar e não dispõem de infra-estrutura de rede no local em que se encontram. A Figura 3 (SILVA e outros, 2011) ilustra este conceito.

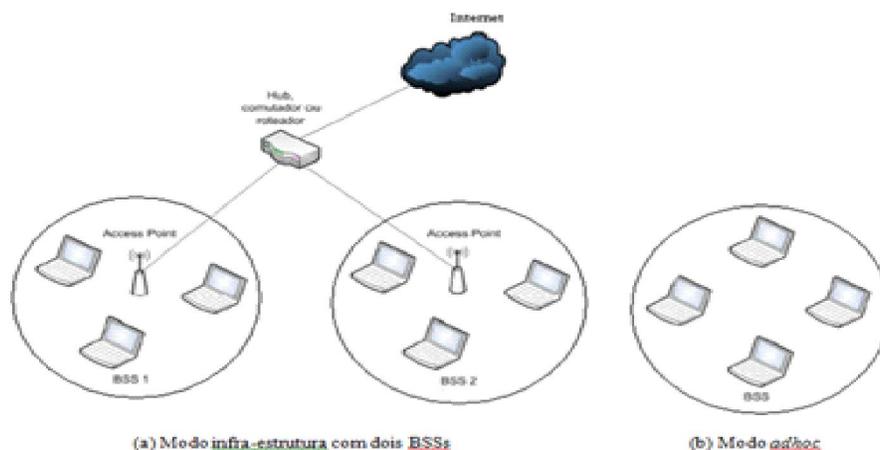


Figura 3 – Modos infra-estrutura e *adhoc*

A tecnologia de redes *adhoc* podem ser aproveitadas para implementar serviços de rede entre dispositivos de usuários de uma mesma delegação, ou para membros de um grupo liderado por uma agência de turismo, por exemplo.

As tecnologias de acesso em banda larga sem fio (BWA – *Broadband Wireless Access*) visam prover conectividade sem fio com alta taxa de transmissão de dados entre estações fixas (BURBANK e KASCH, 2005). Um exemplo de tais aplicações inclui o acesso sem fio de alta velocidade em áreas rurais, onde a infraestrutura é limitada, ou próximo de áreas de prática esportes náuticos.

O padrão IEEE 802.16, ou padrão de Interoperabilidade Mundial para Acesso de Micro-ondas - WiMAX (*Worldwide Interoperability for Microwave Access*), concluído em abril de 2001 e publicado em abril de 2002 (EKLUND e outros, 2002), define a especificação de interface aérea para redes metropolitanas sem fio (*Wireless Metropolitan Area Networks* – WMANs). A realização desse padrão anunciou a entrada de tecnologias banda larga sem fio como uma

ferramenta para a conexão de residências e empresas às principais redes de telecomunicações em escala mundial.

Uma rede metropolitana sem fio fornece acesso à rede a edifícios por meio de antenas externas comunicando-se com estações de rádio base centrais (*Base Stations* – BSs). A rede oferece uma alternativa a redes de acesso cabeadas, tais como enlaces de fibra óptica, sistemas de cabo coaxial e enlaces de linha digital do assinante (*Digital Subscriber Line* –DSL).

O IEEE 802.16 foi projetado para desenvolver um conjunto de interfaces baseadas no protocolo MAC comum, mas com especificações de camada física dependendo do espectro de uso. O padrão IEEE 802.16 inicial atua na faixa de frequência variando entre 10 a 66 Ghz.

A arquitetura de rede do 802.16 requer uma rede de infraestrutura e é constituída por uma estação base e uma ou mais estações assinantes (*Subscriber Station* –SS) (BURBANK e KASCH, 2005). A BS provê conectividade para a rede sem fio à rede de infraestrutura, enquanto que as SSS constituem-se em um conjunto de equipamentos

localizados no cliente que fornece aos usuários no alcance da rede de banda larga sem fio o acesso à rede de infraestrutura.

A BS detém o controle de como e quando as SSs obterão acesso ao meio sem fio. As transmissões podem ser ponto a ponto (PTP – *point-to-point*), ponto a multiponto (PMP – *point-to-multipoint*). Além disso, o 802.16a (BURBANK e KASCH, 2005) fornece o recurso de rede mesh (AKYILDIZ e WANG, 2005) em que as SSs podem atuar como roteadores, retransmitindo dados para os nós que podem não estar na linha de visada (LOS – *Line of Sight*) para a BS.

As BSs tipicamente empregam uma ou mais antenas de feixe largo que podem ser particionadas em diversos setores menores, onde cada um destes soma uma cobertura completa de 360 graus. As SSs geralmente adotam antenas altamente direcionadas que são apontadas para a BS. Este é um fator essencial para as altas taxas de dados alcançadas pelo 802.16 se comparadas as do 802.11, onde são utilizadas antenas omnidirecionais (apontam para todas as direções).

A Camada Física do WiMAX estabelece a conexão física entre ambos os lados, frequentemente nas duas direções (*uplink* e *downlink*). Ela converte os quadros advindos da camada MAC em sinais para serem transmitidos pela interface aérea. Na faixa de frequência de 10 a 66 GHz, é assumida a propagação LOS para comunicações, e, posteriormente, foi assumida a modulação de única portadora, chamada de WirelessMAN-SC. Esta pode empregar as modulações QPSK (*Quadrature Phase-Shift Keying* – Modulação por Deslocamento de Fase em Quadratura), 16-QAM (*Quadrature Amplitude Modulation* – Modulação por Amplitude em Quadratura), ou 64-QAM, modificando adaptativamente a depender das condições do canal. A banda de 2 a 11 GHz assume as comunicações NLOS (*Non-LOS*). A Camada Física do Padrão IEEE 802.16 é baseada somente no OFDM e OFDMA. A multiplexação ortogonal por divisão de frequência (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing* – OFDM) é baseada no princípio de dividir um fluxo de dados de alta taxa de bits em vários fluxos de taxa de bits menores, modulando cada fluxo em portadoras diferentes, chamadas frequentemente de subportadoras. As subportadoras são ortogonais entre si, o que elimina a interferência entre elas.

Os esquemas de modulação multiportadora, no qual se enquadra o OFDM, eliminam ou minimizam a interferência inter símbolos (*intersymbol interference* – ISI), fazendo com que o tempo de símbolo seja suficientemente grande para que os atrasos induzidos no canal de disseminação sejam uma fração insignificante (tipicamente, inferior a dez por cento) da duração do símbolo (ANDREWS e outros, 2007).

A fim de eliminar completamente a ISI, são utilizados no OFDM os intervalos de guarda entre os símbolos. Ao fazer o intervalo de guarda maior do que a propagação do atraso multipath esperado, o ISI pode ser completamente eliminado. Adicionando um intervalo de guarda, no entanto, implica desperdício de energia e uma diminuição na eficiência de largura de banda. A quantidade de energia gasta depende de quão grande é a duração do tempo de guarda de uma fração de símbolo OFDM. Portanto, quanto maior o período de símbolo para uma determinada taxa de dados, o que significa mais subportadoras, menor será a perda de potência e eficiência de largura de banda.

Na versão móvel do WiMAX, que utiliza o OFDMA, é permitida a subcanalização tanto no *uplink* quanto no *downlink*. Subcanais diferentes podem ser atribuídos a diferentes usuários como um mecanismo de acesso múltiplo. Este tipo de esquema de múltiplo acesso é chamado de acesso múltiplo por divisão ortogonal de frequência (*Orthogonal Frequency Division Multiple Access* – OFDMA).

O esquema de subcanalização baseado em subportadoras contíguas no WiMAX é chamado de banda de modulação adaptativa e codificação (*Adaptive Modulation and Coding* – AMC). A banda AMC permite que os desenvolvedores de sistema explorem a diversidade de multi-usuário, alocando subcanais para usuários com base em sua resposta de frequência. Diversidade de usuários pode proporcionar ganhos significativos na capacidade geral do sistema (ANDREWS e outros, 2007).

O protocolo da camada MAC do IEEE 802.16 foi projetado para uma rede sem fio banda larga ponto a multiponto, ou seja, qualquer transmissão de dados originada da estação base será recebida por todas as estações assinantes. Ele aborda a necessidade de alta taxa de bits, tanto no enlace *downlink* (da BS para a SS) quanto no *uplink* (da SS para a BS). Para acesso múltiplo ao canal, é

utilizada a multiplexação por divisão de tempo (*Time Division Multiplexing* – TDM).

A camada MAC do 802.16 é dividida em três subcamadas: subcamada de convergência (*Convergence Sub-layer* – CS), subcamada de parte comum (*Common Part Sub-layer* – CPS), e subcamada de segurança (*Security Sub-layer*).

Uma das funções da subcamada de convergência é aceitar PDUs (*Protocol Data Unit* – Unidade de Dados de Protocolo) provenientes das camadas superiores (NUAYMI, 2007). Existem dois tipos de especificações na CS: *asynchronous transfer mode* (ATM) e pacotes. Para o pacote CS, os protocolos de camada superior podem ser IPv4 (versão 4) ou IPv6 (versão 6).

A subcamada CPS reside na parte central da camada MAC e representa o núcleo do protocolo MAC. Dentre as suas funções estão a duplexação, o acesso ao canal, estabelecimento da conexão, qualidade de serviço.

A subcamada de segurança fornece mecanismos de autenticação, troca de chave de segurança, criptografia e controle de integridade sobre o sistema BWA.

### 2.3 Padrão IEEE 802.21 - *Handover*

O Padrão IEEE 802.21 (IEEE 802.21, 2008), denominado de *Media Independent Handover* (MIH), define um *framework* que tem como objetivo melhorar significativamente o *handover* entre tecnologias de redes heterogêneas. Ele contém as ferramentas necessárias para facilitar o início e a preparação do *handover* (TANIUCHI e outros, 2009). O padrão 802.21 suporta sistemas IEEE 802 (IEEE 802.11, 802.16e) e sistemas que não pertencem a este grupo, como, por exemplo, as redes de celulares. O propósito básico do IEEE 802.21 é facilitar o *handover* entre redes de diferentes tecnologias para proporcionar uma mobilidade que seja imperceptível ao usuário, mantendo as aplicações correntemente em execução.

A Figura 4 adaptada de (OLIVA e outros, 2008) dá uma visão geral sobre a arquitetura interna de diferentes elementos em redes que dão suporte ao padrão IEEE 802.21: o nó móvel, a rede IEEE 802, a rede 3GPP (rede celular 3G) e o seu núcleo de rede. O nó móvel possui duas interfaces de rede, uma com tecnologia baseada em um dos padrões 802 e outra 3GPP, e encontra-se conectado a rede por meio da sua interface 802.

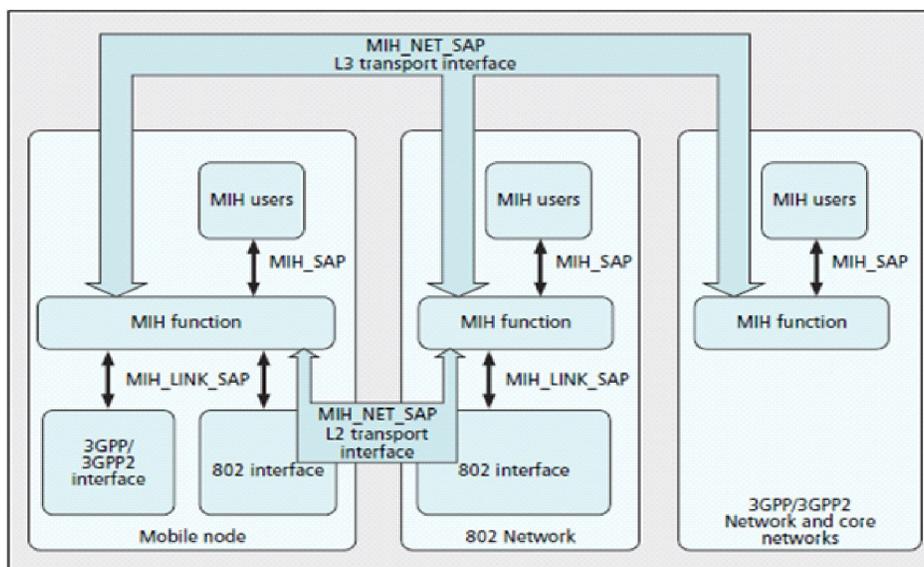


Figura 4 – Arquitetura do Padrão IEEE 802.21.

Nesta figura pode-se observar que todos os elementos possuem uma estrutura semelhante em volta de uma entidade central chamada de Função MIH (*MIH Function* – MIHF). A MIHF funciona como uma camada intermediária entre a camada

de enlace e física, e as camadas superiores, que é responsável por coordenar a troca de informações entre os diversos dispositivos envolvidos na decisão de *handover*, bem como executar o *handover*. A Função MIH engloba os três tipos de

serviços: Serviço de Eventos, de Comandos e de Informação.

O Serviço de Eventos (*Media Independent Event Service* – MIES) detecta mudanças nas propriedades da camada de enlace e relata eventos apropriados provenientes das interfaces locais e remotas. O Serviço de Comandos (*Media Independent Command Service* – MICS) fornece um conjunto de comandos para usuários MIH locais e remotos a fim de controlar o estado do enlace. Já o Serviço de Informação (*Media Independent Information Service* – MIIS) provê informações sobre redes vizinhas incluindo sua localização, propriedades e serviços relacionados.

O Serviço de Eventos define eventos que podem indicar mudanças no comportamento do estado e da transmissão das camadas física, de enlace e lógica, ou prever mudanças de estado destas camadas. Existem duas categorias principais de eventos: eventos de enlace que se originam de camadas inferiores e propagam-se de forma ascendente e eventos MIH oriundos da MIHF. Dentre os principais eventos existentes estão:

- *Link detected*: é gerado quando a interface de um nó móvel detecta a presença de uma rede de acesso para poder associar-se a ela.

- *Link up*: ocorre quando um terminal móvel se associa a um determinado ponto de acesso

- *Link going down*: evento que indica que a iminência da perda de conexão da interface de rede corrente. A geração deste evento é feita utilizando o nível de potência dos pacotes recebidos.

- *Link down*: evento que sucede o *link going down*. Indica que o link foi quebrado, ou seja, que o nó móvel saiu da área de cobertura da rede à qual estava conectado.

O Serviço de comandos fornece comandos para controlar o estado do enlace. Comandos podem ser invocados localmente ou remotamente por usuários MIH ou pela própria função MIH. Por exemplo, um usuário MIH pode controlar a reconfiguração ou seleção de um enlace apropriado. Comandos locais propagam de usuários MIH para a função MIH e desta para as camadas inferiores. Comandos remotos são transportados por mensagens de protocolo MIH e podem se propagar da função MIH na pilha local de protocolo para a função MIH remota.

Serviço de Informação define um conjunto de elementos de informações (*Information Elements* – IEs), sua estrutura e representação da informação, e um mecanismo baseado em pergunta-resposta para transferência de informação. O MIIS provê um arcabouço para que entidades MIH possam descobrir informações úteis para realizar decisões de *handover*. Por exemplo, ele pode ser utilizada para descobrir informações sobre as redes dentro de uma área geográfica específica para permitir uma decisão mais eficaz de realização e execução de *handover*.

Os Usuários MIH (*MIH Users*) são abstrações das entidades funcionais que empregam serviços MIH, isto é, aplicações que fazem uso de serviços MIH. Um típico usuário de tais serviços pode ser uma aplicação de gerenciamento de mobilidade que utilizará estes serviços para otimizar *handovers*, como implementações de algoritmos de decisão para selecionar uma rede candidata entre várias alternativas.

Os Pontos de Acesso de Serviço (*Service Access Points* – SAPs) mostrados na Figura 1 oferecem uma interface comum entre os Usuários MIH e a MIHF, entre a camada de enlace e a MIHF e entre MIHFs remotas. Essas interfaces oferecem abstrações das funções da camada de enlace para tornar a MIHF independente das especificidades das tecnologias. Os MIH SAPs são definidos em termos de primitivas na especificação IEEE 802.21 que oferece informações sobre suas funcionalidades e parâmetros. Eles incluem:

- *MIH\_SAP*: um SAP independente ao meio que fornece uma interface uniforme para que as camadas superiores possam controlar e monitorar os diferentes enlaces independentemente da tecnologia de acesso;

- *MIH\_LINK\_SAP*: um SAP específico ao meio que provê uma interface para a MIHF a fim de controlar e monitorar os enlaces específicos ao meio. Para que a MIHF ofereça o MIES e o MICS para uma camada de enlace específica, ela necessita implementar o *MIH\_LINK\_SAP* para aquela camada de enlace;

- *MIH\_NET\_SAP*: um SAP dependente do meio que oferece serviços de transporte sobre os planos de dados no nó local, suportando a troca de informações e mensagens MIH com uma função MIH remota.

### 3 TRABALHOS RELACIONADOS

O Wi-Fi e o WiMAX são exemplos de redes sem fios bastante difundidas atualmente. Neste artigo o *handover* entre as redes Wi-Fi e WiMAX utiliza o padrão IEEE 802.21 que possui a vantagem de fornecer a comunicação entre as camadas inferiores e superiores através de uma interface independente ao meio.

#### 3.2 Implementação do *handover* para Wi-Fi e WiMAX

O Wi-Fi destaca-se pela sua tecnologia bastante consolidada, sendo o principal padrão para redes locais sem fio e presente na maioria dos dispositivos móveis. O WiMAX é uma tecnologia que visa oferecer acesso em banda larga sem fio na última milha, que oferece concorrência às tecnologias como DSL, redes 3G e *Cable Modem*. Em (MATOS e outros., 2009) foi avaliado o impacto do aumento de estações assinantes, para o tráfego streaming de vídeo e VoIP, em redes WiMAX. Em tal trabalho, atestou-se a capacidade do WiMAX de garantir a qualidade de classes (esta tecnologia emprega o conceito de classes de serviço) de maior prioridade em concorrência com classes de menor prioridade.

Na literatura há diversos trabalhos que abordam *handovers* entre as redes Wi-Fi e WiMAX, como pode ser observado em (ZHANG e outros, 2008), (YANG e outros, 2008) e (PONTES e outros, 2008). Em (MARQUES e outros, 2010) há uma abordagem do processo de sinalização utilizado no padrão IEEE 802.21 em relação ao *handover* entre WiMAX e Wi-Fi. Os autores propõem um modo de determinar o número de *handovers* esperados em uma simulação na ferramenta NS-2, além de avaliar a confiabilidade e escalabilidade do NS-2 ao se utilizar cenários 802.21 com múltiplos dispositivos móveis. Para avaliar o NS-2 como uma plataforma de simulação de *handovers* em cenários 802.21 são medidos a perda de pacotes do sistema, o atraso de *handover* e o impacto do aumento da taxa de bits no sistema.

Em (SILVA e outros, 2011), é proposto um framework de testes para algoritmos de decisão de *handover* em redes heterogêneas, que combinam recursos de simulação e emulação de redes. O trabalho referido utiliza o NS-2 e o *DummyNet* como simulador e emulador de redes, respectivamente, realizando o *handover* entre as redes Wi-Fi e WiMAX. Para avaliar o *framework* foi utilizado como algoritmo de decisão o Processo

Hierárquico e Analítico (SAATY, 1994) (*Analytic Hierarchy Process - AHP*) e a análise do atraso de propagação e perda de pacotes para ambas as redes envolvidas.

Dentre os trabalhos que abordam o *handover* entre as redes UMTS e Wi-Fi está o de (MACHAN e outros, 2008). O *handover* é modelado para uma área urbana onde se tem disponível uma cobertura da rede UMTS, sendo assumido que esta sempre esteja acessível. Com isso, é permitido que se tenha um *handover* sem perdas de pacotes, para o caso no qual uma estação se move de uma rede IEEE 802.11 para uma rede UMTS. O trabalho referido considera o coeficiente da potência recebida antecipando a queda do enlace para proporcionar um *handover* “suave”, ou seja, não há uma desconexão abrupta e repentina da rede Wi-Fi para depois se conectar a UMTS. Entretanto, tanto para o *handover* da rede UMTS para Wi-Fi quanto para o da rede Wi-Fi para UMTS, os autores não especificam o método de decisão de *handover*. O NS-2 foi utilizado para avaliar o desempenho do *handover* entre as redes anteriormente citadas, medindo o número de pacotes perdidos em dois cenários, com e sem a utilização do serviço de eventos do IEEE 802.21.

Em (NGUYEN-VUONG e outros, 2006) foi proposto uma arquitetura que possibilita a interoperabilidade entre as redes UMTS e WiMAX. A movimentação do usuário envolve dois cenários de *handover*: *handover* de WiMAX para UMTS e de UMTS para WiMAX. O trabalho promove um *handover* suave que permite a continuidade do serviço com baixa latência de *handover* e perda de pacotes em ambos os cenários, com a utilização do IP Móvel. Em ambos cenários, ou seja, os quais envolvem a transição da rede WiMAX para a rede UMTS e vice-versa, o equipamento do usuário realiza uma mensuração da qualidade de sinal da rede alvo para avaliar as condições para o *handover* vertical. Caso estas condições sejam satisfatórias, é tomada a decisão de *handover*, sendo que a continuidade do serviço após o *handover* é promovido pelo IP Móvel, o qual opera na camada de rede. Porém, é necessária também a gerência do meio físico, ou seja, a comunicação entre as camadas de rede e de enlace, fazendo com que haja uma cooperação entre elas a fim de facilitar o processo de *handover*. Tal funcionalidade é promovida pelo padrão IEEE 802.21, o qual não é utilizado neste artigo.

### 3.2 Implementação do IEEE 802.21 no NS-2

O suporte para a *handovers* verticais está disponível no simulador de redes NS-2 (NS-2 2001) (Network Simulator) através de módulos extras implementados pelo NIST (*National Institute of Standards and Technology*), baseados no padrão IEEE 802.21. O NIST adicionou e modificou módulos na versão padrão do NS-2 (versão 2.29) a fim de possibilitar a utilização de cenários com mobilidade. Estas modificações estão descritas a seguir (MARQUES e outros, 2010):

- Módulo IEEE 802.21, baseado no *draft 3* do IEEE 802.21;
- Módulo IEEE 802.16, baseado no padrão IEEE 802.16g-2004 e na extensão de mobilidade 802.16e-2005;
- Módulo *Neighbor Discovery* para IPv6 (funcionalidade limitada);
- Atualização da implementação existente do IEEE 802.11 MAC.

O módulo extra 802.21 contém uma implementação da função MIH baseada no

rascunho 3 da especificação IEEE 802.21. A função MIH e Usuários MIH são implementadas como Agentes do NS-2. Um Agente é uma classe definida no NS-2 (FALL 2001) que tem acesso às camadas inferiores (física e enlace) e superiores (rede e acima), e por esta razão foi estendida pela MIHF para fornecer as funcionalidades essenciais do padrão 802.21. A classe do Usuário MIH é hierarquicamente organizada de acordo com a Figura 5 adaptada de (MARQUES e outros, 2010). A classe *Interface Management* (IFMNGMT) oferece funções de gerenciamento de fluxo que auxiliam o módulo de *handover* no redirecionamento de fluxos. A IFMNGMT também recebe eventos do agente de descoberta de rede (*Neighbor Discovery* – ND) quando um novo prefixo (endereço de rede, na nomenclatura do NS-2) é detectado ou quando ele expira. O agente MIPv6 adiciona a capacidade de redirecionamento para o Usuário MIH. Quando um fluxo necessita ser redirecionado, uma mensagem pode ser enviada para o nó de origem para informá-lo a respeito do novo endereço ou interface que será utilizado. A classe *Handover* provê um modelo para módulos de *handover* e calcula o novo endereço após um *handover* bem sucedido.



Figura 5 – Hierarquia de classes do Usuário MIH

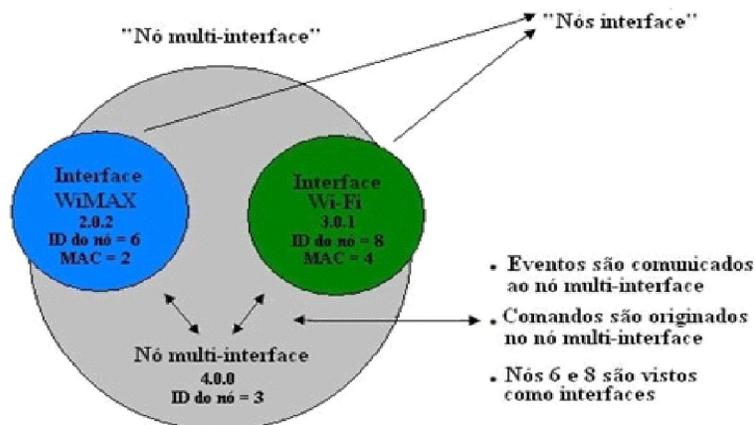


Figura 6 – Visão geral de um nó multi-interface

O módulo IEEE 802.21 do NIST suporta as seguintes tecnologias: WiMAX (802.16), Wi-Fi (802.11), UMTS e Ethernet (802.3). O suporte a nós com múltiplas interfaces não é padrão no NS-2, porque pacotes externos não seguem necessariamente a mesma estrutura de nó como a definida no modelo básico (ou seja, os algoritmos de roteamento são diferentes). Para resolver essa questão, o NIST criou um conceito de nó multi-interface, que é um nó que se conecta a outros nós. Os outros nós são considerados interfaces para o nó multi-interface, e este pode ser visto como "um super nó". Este conceito é ilustrado na Figura 6 adaptada de (RIBEIRO e outros, 2010). Os nós interface disparam eventos e os envia ao nó multi-interface. Os Usuários MIH no nó multi-interface podem cadastrar-se para receber estes eventos. Além disso, cada nó interface também executará uma instância do agente de descoberta de rede a fim de detectar o movimento de camada 3.

#### 4 AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO

Esta seção apresenta o cenário de simulação utilizado para avaliar o desempenho de um sistema que implementa o padrão IEEE 802.21, bem como as métricas utilizadas e os resultados da simulação.

##### 4.1 Cenário de Simulação

Este trabalho considera o *handover* entre as redes Wi-Fi e WiMAX. O algoritmo de decisão de *handover* utilizado leva em consideração a força do sinal recebido no terminal móvel, e atribui preferência maior a interface Wi-Fi, devido ao fato desta consumir menos energia que a interface WiMAX e de *hotspots* Wi-Fi oferecerem acesso gratuito. O *handover* realizado é controlado pelo terminal móvel, além de ser feito antes de ser interrompida a conexão, ou seja, mantêm as duas conexões ativas, a antiga e a nova, para só posteriormente se desassociar à antiga.

Tabela 1 – Parâmetros de simulação

Parâmetro	Valor
Número de nós móveis	De 5 a 50
Número de replicações	10
Velocidade dos nós	50 Km/h
Modelo de propagação do canal	Two-Ray Ground
Tráfego	Exponencial ON/OFF, com taxa de bits de 26,4 Kbps
Enlaces cabeados	Oferecem largura de banda de 1 Gbps

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE APLICAÇÕES DE VOZ SUBMETIDAS A *HANDOVER* ENTRE REDES WI-FI E WIMAX**

Cobertura WiMAX	500 m
Cobertura Wi-Fi	100 m

A topologia de rede utilizada, baseada em (MARQUES e outros, 2010), consiste em três pontos de acesso (AP1, AP2 e AP3), uma estação base (BS) e um nó correspondente (CN) conectados a um roteador via enlaces cabeados Ethernet de 1 Gbps, como representado na Figura 7. O prefixo (endereços) dos nós multi-interface e de suas respectivas interfaces depende do número de nós, representado na Figura 7 por *n*. Os principais parâmetros de entrada utilizados para a simulação estão sintetizados na Tabela 1. São utilizados até 50 nós móveis com movimento retilíneo à velocidade constante de 50 Km/h. O

número de replicações referente à simulação foi de 10 para atingir um nível de confiança de 95%. Para simular as chamadas VoIP foi utilizado um tráfego exponencial do tipo ON/OFF, onde durante os períodos inativos nenhum quadro é enviado. Esse tráfego gerado corresponde ao tráfego VoIP sem supressão de silêncio. Durante os períodos ativos, os tamanhos de quadro são de 66 bytes, enviados a cada 20 milissegundos. Isso resulta numa taxa de 26,4 Kbps, adequada para chamadas VoIP de boa qualidade. As chamadas VoIP são realizadas entre o nó correspondente e os nós móveis conectados a uma das redes sem fio.

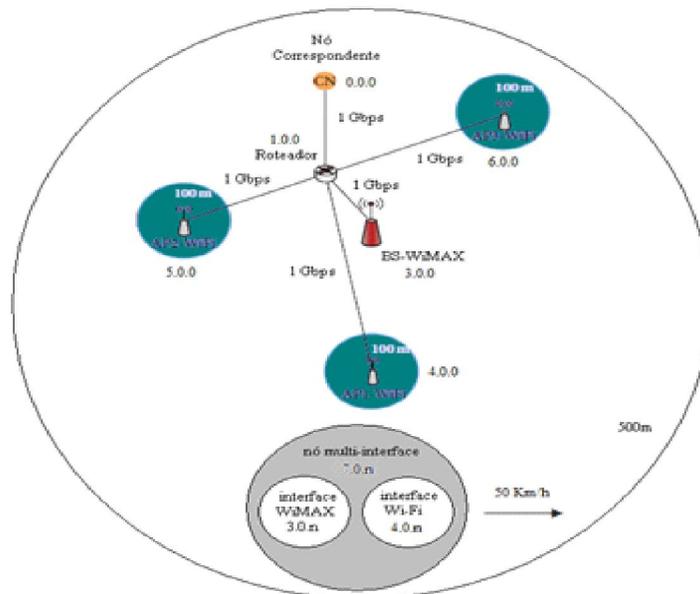


Figura 7 – Topologia da rede simulada

A análise de desempenho realizada leva em consideração as seguintes métricas: o tempo de *handover* e a perda de pacotes, já que estas se constituem em uma das métricas comumente utilizadas para análise de desempenho de *handovers* (MONTAVONT e outros, 2005). Além disso, também é medido o valor médio dos *handovers* que foram realizados com sucesso, assim como os que falharam, relativos a cada nó. O tempo de *handover* foi abordado para as redes Wi-Fi e WiMAX. Para a rede Wi-Fi, ele corresponde ao tempo gasto para o nó móvel se desassociar da rede WiMAX e se conectar à rede

Wi-Fi, enquanto para o WiMAX ocorre o inverso. Neste trabalho, o termo atraso refere-se ao tempo de *handover*. Além disso, também se convencionou que o atraso observado pela transição da rede WiMAX para a rede Wi-Fi é denotado como “Atraso Wi-Fi”, já o atraso referente ao *handover* da rede Wi-Fi para a WiMAX é chamado de “Atraso WIMAX”. O tempo de *handover* abordado neste trabalho constitui-se no tempo gasto para uma interface enviar uma mensagem de solicitação de redirecionamento de tráfego (*redirect message*) para o nó correspondente (CN) e receber a

mensagem de confirmação (*redirect ack*) do CN (HURRICANE 2008). A perda de pacotes corresponde à diferença entre o número de pacotes enviados pelo nó correspondente e à quantidade de pacotes que foram recebidos por todos os nós móveis, em ambas as interfaces.

Durante a simulação os nós móveis são adicionados com o incremento de cinco unidades, variando de 5 a 50. Este incremento foi adotado a fim de analisar o impacto que o aumento gradativo do número de nós ocasiona no atraso para as redes Wi-Fi e WiMAX, bem como na perda de pacotes. Vale notar que a perda de pacotes é referente ao sistema como um todo, sem distinção quanto à rede de acesso.

#### 4.2 Resultados

A Figura 8 mostra os resultados de atraso de *handover* tanto da rede WiMAX para a Wi-Fi, quanto da rede Wi-Fi para WiMAX, em função do número de nós móveis. Pelo gráfico, constata-se que o aumento do número de nós não afetou significativamente o atraso de *handover* para a rede Wi-Fi. Os tempos de atraso mantiveram-se, aproximadamente, entre 3 e 5 ms durante a simulação, uma variação considerada insignificante para as aplicações VoIP que toleram atrasos abaixo de 150 ms de acordo com (CHEN e outros, 2004).

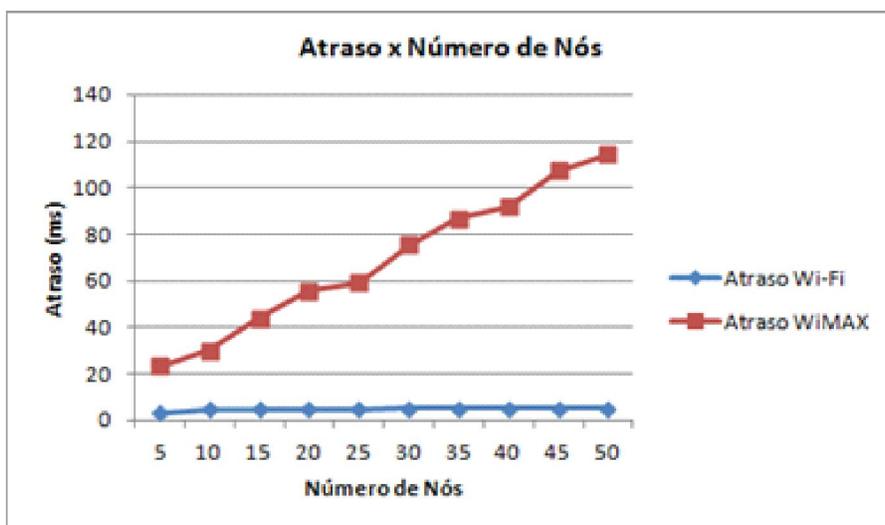


Figura 8 – Atraso de *handover*

Já para a rede WiMAX, observa-se um crescimento quase que linear do atraso em função do número de nós móveis. Percebe-se também que estas medições apresentam valores significativamente maiores quando comparados aos atrasos de *handover* para a rede Wi-Fi. Para 40 nós, por exemplo, o atraso para a rede WiMAX foi de, aproximadamente, 90 ms e para a rede Wi-Fi, 5 ms. Esta diferença ocorre porque os *handovers* realizados para a tecnologia Wi-Fi são distribuídos entre 3 pontos de acesso, ao passo

que, somente uma estação base WiMAX está presente para receber os nós móveis, gerando assim uma sobrecarga maior sobre a rede WiMAX, tendo em vista que as solicitações de *handover* ocorrem simultaneamente nos dois casos. Entretanto, pode-se observar pelo gráfico da Figura 5 que o atraso de *handover* sequer chegou ao valor de 120 ms, não ultrapassando o limite aceitável em aplicações sensíveis ao atraso, que corresponde a valores abaixo de 150 ms, como foi comentado anteriormente.

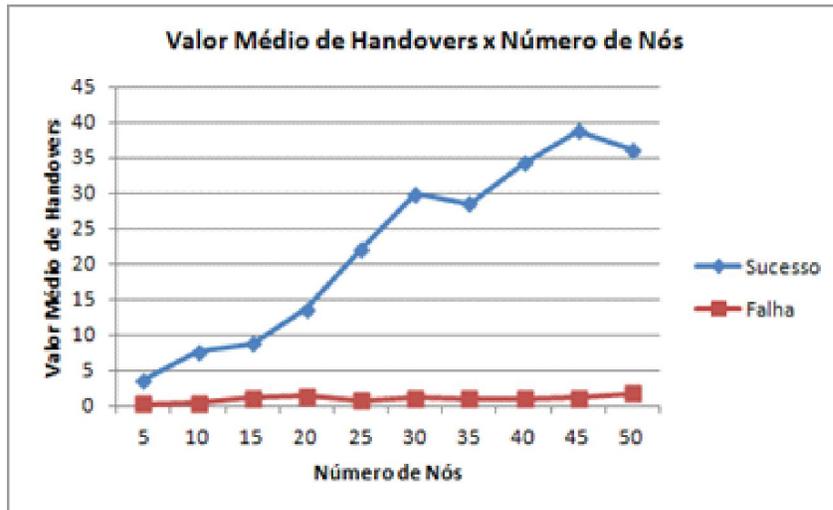


Figura 9 – Perda de pacotes

A Figura 9 apresenta a taxa de perda de pacotes para a aplicação VoIP. O gráfico apresenta taxas de perda de pacotes muito baixas, não ultrapassando o valor de 0,04%. Segundo (CHEN e outros, 2004) taxas de perdas em chamadas de voz são toleráveis em até 1%. Ao longo da simulação os valores para a taxa de perdas esteve

bastante abaixo deste valor. Vale ressaltar que o *handover* não provoca perda de pacotes, já que, durante o processo, duas conexões, a da rede atual e da rede para onde se está migrando, são mantidas. Somente no estágio final do *handover* a conexão antiga é rompida.



Figura 10 – Média de Sucesso e Falha de *Handover*

A Figura 10 apresenta a média dos *handovers* que foram realizados com sucesso e os que falharam. Pode-se observar pelo gráfico que a média de sucesso de *handover* foi bastante superior à falha. A média de falha manteve-se praticamente constante, com valores

abaixo de 5. Já a média de sucesso teve um crescimento praticamente linear, de acordo com o aumento da quantidade de nós. Tais resultados mostraram a eficácia de se utilizar o padrão IEEE 802.21 no auxílio a cenários de *handover* vertical.

## 5 CONCLUSÃO

Eventos esportivos como as Olimpíadas e a Copa do Mundo, atraem bastantes espectadores, inclusive de outros países. Isso acarreta numa grande demanda para a infraestrutura de redes que deve oferecer diversos serviços de comunicação para essas pessoas. Dentre esses serviços destacamos a aplicação de VoIP, que oferece uma alternativa mais econômica em relação à telefonia convencional, e que é bastante utilizada atualmente. O uso de infraestruturas de rede já consolidadas com a inclusão de serviços que migram entre essas redes de acordo com critérios de custo e desempenho pode ser uma alternativa para oferecer benefícios aos usuários de serviços de TIC.

Com o enorme crescimento das tecnologias de rede sem fio e a sua disponibilidade em um mesmo ambiente, torna-se importante analisar os aspectos de mobilidade advindos da realização de *handovers* por dispositivos móveis. Diversas tecnologias de redes sem fio foram desenvolvidas nas últimas duas décadas e neste trabalho destacamos as redes Wi-Fi e WiMAX.

Os usuários necessitam estar conectados continuamente para que não haja interrupção nas aplicações que ele está utilizando. O gerenciamento de *handover* é um aspecto fundamental para que essa exigência seja atendida. No entanto, os mecanismos que realizam esse gerenciamento não devem introduzir *overheads* na comunicação entre os terminais móveis e as redes disponíveis, o que comprometeria a qualidade dos serviços que estão sendo oferecidos. O presente trabalho analisou o desempenho de *handover* vertical observado entre as tecnologias Wi-Fi e WiMAX utilizando o padrão IEEE 802.21. Para tal fim, foram utilizadas duas métricas: atraso e perda de pacotes. De um modo, o aumento do número de nós fez com que o atraso de *handover* para a rede Wi-Fi permanecesse quase constante, ao passo que para a rede WiMAX fez com que houvesse um aumento linear. Os valores de atraso atenderam aos requisitos necessários para o fornecimento do serviço de VoIP. Com isso, foi observado que o gerenciamento de *handover* realizado pelo padrão IEEE 802.21 não compromete o desempenho do serviço VoIP com relação ao atraso inserido com o *handover*. Quanto à perda de pacotes, os resultados também foram considerados satisfatórios, uma vez que a taxa de perdas se manteve bem abaixo do valor tolerável em transmissões de voz. Em relação à media de sucesso e falha de *handover* observou-se que os valores médios de sucesso foram muito superiores aos de falha,

comprovando o ganho em se empregar o padrão IEEE 802.21 em cenários de *handover* que envolvam diferentes tecnologias de rede.

## REFERENCES

- ANDREWS, J., GHOSH, A., MUHAMED, R. "Fundamentals of WiMAX". [S.l.]: Prentice Hall.
- AKYILDIZ, I., WANG, X.. "A Survey on Wireless Mesh Networks". IEEE Radio Communications. [S.l.]: 2005. p. 23-30.
- BRENNER, P. "A Technical Tutorial on the IEEE 802.11 Protocol". [S.l.]: 1997. 24 p.
- BURBANK, J., KASCH, W. "IEEE 802.16 Broadband Wireless Technology and its application to the Military Problem Space". In: IEEE Military Communications Conference. Atlantic City, 2005. v. 3, p. 1905-1911.
- CHEN, Y.; FARLEY, T.; YE, N. "Qos Requirements of Network Applications on The Internet". Inf. Knowl. Syst. Manag., IOS Press, Amsterdam, The Netherlands, The Netherlands, v. 4, n. 1, p. 55-76, 2004.
- DE LA OLIVA, A., BANCHS, A., SOTO, I., MELIA, T., VIDAL, A. "An Overview of IEEE 802.21: Media-Independent Handover Services". Wireless Communications, IEEE, v. 15, n. 4, p. 96-103, 2008.
- EKLUND, C., MARKS, R., STANWOOD, K., WANG, S. "IEEE Standard 802.16: A Technical Overview of the WirelessMAN Air Interface for Broadband Wireless Access". IEEE Communications Magazine June. [S.l.]: 2002. p. 98-107.
- FALL, J. "The NS Manual". Site do NS-2, 2001 [disponível on-line: <http://www.isi.edu/nsnam/ns/ns-documentation>].
- GIL, A. "A Importância da TI para a Copa 2014 e Olimpíadas 2016". Site da Added Soluções em Tecnologia da Informação, Agosto, 2011. [disponível on-line: <http://www.added.com.br/noticia/a-importancia-da-ti-para-a-copa-2014-e-olimpiadas-2016.html>]
- GUSTAFSSON, E., JONSSON, A. "Always best connected". IEEE Wireless Communications, v. 10, n. 1, p. 49-55, 2003.
- HURRICANE. "Handovers for Ubiquitous and Optimal Broadband Connectivity among Cooperative Networking Environments". D4.2: Implementation of modules for network nodes, 2008. [disponível on-line: <http://www.ict hurricane.eu/index.php?d=deliverables>]

- IEEE 802.21. "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks – Part 21: Media Independent Handover Services". 2008 [disponível on-line: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.21-2008.pdf>]
- KASSAR, M., KERVELLA, B., PUJOLLE, G. "An overview of vertical handover decision strategies in heterogeneous wireless networks". Computer Communications, Elsevier, 2008.
- KUROSE, J., ROSS, K. "Redes de computadores e a internet: uma abordagem top-down". 5. ed. São Paulo: Pearson, 2010. xxiii, 614 p. ISBN 9788588639973.
- MACHAN, P., SERWIN, S., WOZNIAK, J. "Performance of Mobility Support Mechanisms in a Heterogeneous UMTS and IEEE 802.11 Network Offered under The IEEE 802.21 Standard". Information Technology, 2008. IT 2008. 1st International Conference on, p. 1–4. IEEE, 2008.
- MARQUES, H., RIBEIRO, J., MARQUES, P., RODRIGUEZ, J. "Simulation of 802.21 Handovers Using NS-2". Journal of Computer Systems, Networks, and Communications, 2010.
- MATOS, R., FREIRE, T., SILVA, A., OLIVEIRA, D., SALGUEIRO, R., SALGUEIRO, E. "Avaliação de Desempenho de Tráfego de Vídeo em Redes WiMAX". 8th International Information and Telecommunication Technologies Symposium (I2TS 2009), 2009.
- MONTAVONT, N., ROUIL, R., GOLMIE, N. "Effects of Router Configuration and Link Layer Trigger Parameters on Handover Performance". National Institute of Standards and Technology, USA, 2005.
- NEE, R., PRASAD, R. "OFDM for wireless multimedia communications". [S.l.]: Artech House, Inc. Norwood, MA, USA, 2000.
- NGUYEN-VUONG, Q., FIAT, L., AGOULMINE, N. "An Architecture for UMTS-WiMAX Interworking". Broadband Convergence Networks, 2006. BcN 2006. The 1st International Workshop on, p. 1–10, 2006.
- NS-2. "The Network Simulator – NS-2". Página oficial do projeto, 2001. [disponível on-line: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>]
- NUAYMI, L. "WiMAX: Technology for Broadband Wireless Access". France: 2007.
- PONTES, A., DOS PASSOS SILVA, D., JAILTON, J., RODRIGUES, O., DIAS, K. "Handover Management in Integrated WLAN And Mobile WiMAX Networks". Wireless Communications, IEEE, v. 15, n. 5, p. 86–95, 2008.
- SAATY, T. "How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process". Interfaces 24, p. 19-43, 1994.
- SILVA, A., SALGUEIRO, R., SALGUEIRO, E. "Framework de Testes para Algoritmos de Decisão de *Handover* Vertical em Redes Heterogêneas". III Congresso Internacional de Computación y Telecomunicaciones (COMTEL 2011), 2011.
- TANIUCHI, K., OHBA, Y., FAJARDO, V., DAS, S., TAUIL, M., CHENG, Y., DUTTA, A., BAKER, D., YAJNIK, M., FAMOLARI, D. "IEEE 802.21: Media Independent Handover: Features, Applicability, and Realization". Communications Magazine, IEEE, v. 47, n. 1, p. 112–120, 2009.
- WI-FI ALLIANCE. "Wi-fi alliance". Site oficial da organização. 2010. [disponível on-line: <http://www.wi-fi.org/organization.php>]
- YANG, S., WU, J., HUANG, H. "A Vertical Media-Independent Handover Decision Algorithm across Wi-Fi and WiMAX Networks". Wireless and Optical Communications Networks, 2008. WOCN'08. 5th IFIP International Conference on, p. 1-5, 2008.
- ZHANG, Y., ZHUANG, W., SALEH, A. "Vertical Handoff between 802.11 and 802.16 Wireless Access Networks". Global Telecommunications Conference, 2008. IEEE GLOBECOM 2008. IEEE, p. 1–6