

Utilização de IEEE 802.21 em *Handovers* Controlados por Rede

Daniel Corujo, Rui L. Aguiar

Resumo – Este artigo descreve e avalia a aplicação da norma IEEE 802.21 a um ambiente de mobilidade IP em redes heterogéneas, em que os *handovers* são controlados pela rede. A complexidade de gestão de mobilidade, acrescida pelas diferentes tecnologias às quais o terminal se pode ligar, requer a interacção entre entidades a processar informação relativa aos dispositivos de rede existentes no terminal (redes detetadas e qualidade de sinal experimentada) bem como entidades a processar a informação existente na rede (capacidade de utilizadores numa determinada célula, preferências do utilizador). Neste trabalho desenvolveu-se uma arquitectura em que o protocolo IEEE 802.21 possibilita esta partilha de informação de uma forma independente da tecnologia. Esta arquitectura foi avaliada por meio de simulação.

Abstract – This paper describes and evaluates the application of the IEEE 802.21 standard to an heterogeneous networks IP mobility environment, where handovers are network-controlled. The mobility management complexity, increased by the different technologies the terminal is able to connect to, requires the interaction of entities processing information pertaining to the link devices at the terminal (detected links and received signal strength) as well as entities processing network information (user load at a certain cell, user preferences). This paper presents a framework where the IEEE 802.21 standard allows this information sharing in a media independent way. The framework was evaluated through simulation.

I. INTRODUÇÃO

A mobilidade ao nível da camada IP tem sido amplamente explorada em investigação de redes de telecomunicações. Protocolos do *Internet Engineering Task Force* (IETF) como [1] e suas optimizações [2] [3], estão a atingir estados de desenvolvimento onde primeiras implementações já estão disponíveis para aplicação. Paralelamente, está a ser cada vez mais clara a necessidade de interoperação entre diferentes tecnologias e normas [4]. Já há acordos entre organizações de normalização (IETF, *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), *3rd Generation Partnership Project* (3GPP), WiMAX Forum), de forma a serem acordados aspectos e requisitos em comum, que assegurem a compatibilidade entre arquitecturas e protocolos de mobilidade. Noutras palavras, enquanto que os protocolos de mobilidade do IETF utilizam o IP como camada de convergência, tem que se ter em conta que i) estes protocolos têm que considerar os requisitos das arquitecturas dos dispositivos físicos e ii) estes protocolos podem facilmente operar em ambientes de redes *wireless* heterogéneas.

Métodos para controlo de mobilidade em múltiplos ambientes são uma necessidade para o futuro, onde terminais equipados com múltiplas interfaces de rede se movimen-

tam num ambiente servido por vários tipos de redes [5]. Estes métodos de controlo de mobilidade terão que ter em conta tanto a mobilidade por parte do terminal (movimento do utilizador) como também a mobilidade entre redes heterogéneas, em cenários onde o balanceamento do número de utilizadores ou preferências dos mesmos requerem acções de controlo de mobilidade por parte das próprias redes. Para combinar este tipo de acções da rede e do utilizador, é necessária uma arquitectura que conjugue tanto informação por parte das diversas camadas tecnológicas, como informação da camada IP, providenciando troca de informação entre o terminal e os componentes da rede. Assim, conceitos de mobilidade conduzida pelo utilizador precisam de ser combinados com requisitos de mobilidade controlada pelo operador da rede [6]. Desta forma, utilizadores móveis podem usufruir de serviços *seamless*, tomando vantagem da escolha de opções de mobilidade optimizadas, computadas eventualmente por componentes de rede.

Tendo em conta estas tendências, neste artigo evoluem-se os mecanismos de mobilidade adicionando-lhes inteligência da rede capaz de i) compreender a diversidade de tipos de redes existentes e ii) convergir novos serviços de mobilidade na camada IP. Neste trabalho, a mobilidade não é mais vista como uma reacção pura ao movimento do terminal, mas como um potencial serviço que futuros operadores de rede poderão oferecer aos seus clientes. Neste contexto, a mobilidade do terminal pode ser controlada pela rede através da detecção de eventos oriundos do terminal, ou totalmente iniciada pela rede suportando optimizações quando necessário. Para suportar eficientemente estes novos cenários de mobilidade, é proposta neste artigo uma arquitectura flexível que combina o protocolo de mobilidade global Mobile IPv6 [1] com a norma IEEE 802.21 [7] para execução de *handovers* verticais controlados por rede.

Neste trabalho considera-se que futuras redes de quarta geração (4G) irão utilizar esta combinação de personalização no terminal e a optimização da utilização dos recursos da rede, e ambos terão que ser integrados no plano de controlo de mobilidade. Além disso, a dinâmica de mobilidade, cobertura de célula, e ambientes multi-tecnologia é diferente dos tradicionais cenários das redes celulares actuais. Assim, os resultados genéricos conhecidos da aplicação de *handovers* iniciados por rede não são directamente aplicáveis em redes 4G. Assim o desempenho desta arquitectura é avaliada por meio de simulação, considerando redes WLAN e redes celulares, e mostra-se que esta arquitectura suporta mobilidade baseada em normas, com flexibilidade adicional.

O restante artigo está organizado da seguinte forma. A

secção II apresenta um resumo das funcionalidades da norma IEEE 802.21. A secção III descreve o cenário de simulação utilizado nas experiências realizadas, indicando a sinalização utilizada, a arquitectura do terminal e da entidade de rede para controlo dos *handovers* e as métricas de simulação. Na secção IV são apresentados os resultados obtidos. Por fim, conclui-se o artigo na secção V.

II. IEEE 802.21

O IEEE 802.21 é uma norma, actualmente em desenvolvimento pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, que pretende facilitar e otimizar *handovers* heterogéneos, entre diferentes tecnologias IEEE 802 (i.e., IEEE 802.11, 802.16, etc.) e entre essas tecnologias e sistemas celulares (i.e., 3GPP e 3GPP2). O objectivo é providenciar os meios que facilitem e melhorem a inteligência associada ao procedimento de *handover*, permitindo a fabricantes e operadores desenvolverem a sua própria estratégia e políticas de *handover*.

Além disso, o IEEE 802.21 contempla múltiplos cenários de mobilidade, tanto cenários que considerem *handovers* iniciados pelo terminal quer cenários com *handovers* iniciados pela rede, e funciona de forma independente da localização da entidade que controla os *handovers*.

Para este fim, o IEEE 802.21 adiciona uma função independente da tecnologia (*MIHF*, *Media Independent Handover Function*) que melhora a comunicação entre diferentes entidades, tanto locais (no terminal móvel) como remotas (entidades na rede). Esta função define três serviços de mobilidade. O *Media Independent Event Service (MIES)* providencia a classificação, filtragem e relato de eventos provenientes das camadas de *link*, referentes à manifestação de alterações nas características, estado e qualidade das mesmas. Assim, os eventos podem ser considerados como fornecedores dinâmicos de informação do das camadas tecnológicas. O *Media Independent Command Service (MICS)* permite à entidades de alto nível (e.g. aplicações, entidades de gestão de mobilidade) gerir e controlar o comportamento dos *links* relacionado com *handovers* e mobilidade. Também providencia os meios para a execução de controlo e acções nas camadas inferiores (i.e., camadas tecnológicas 802.3, 802.11, 802.16, 3GPP e 3GPP2), tanto no âmbito local como remoto. Por último, o *Media Independent Information Service (MIS)* providencia detalhes acerca das características e serviços fornecidos pela rede que confere o serviço, bem como por redes circundantes. Ao invés dos eventos, a informação fornecida por este serviço é de natureza estática, servindo para reportar informação tal como os tipos de tecnologia suportados na rede em questão, o identificador do operador e dos pontos de acesso, etc.

Esta informação permite complementar decisões de *handover* e otimizar o acesso a redes. A partilha de informação e a utilização de comandos e eventos permitem que algoritmos de *handover* sejam suficientemente inteligentes para garantir uma transição sem interrupções perceptíveis ao utilizador, ou à aplicação que esteja a utilizar a rede, durante a transição entre pontos de acesso.

Esta troca de informação processa-se entre camadas de alto nível e as camadas tecnológicas (camadas de *link*), tendo

como ponto de referência o MIHF. Desta forma, o IEEE 802.21 fornece uma abstracção das camadas tecnológicas permitindo às entidades de alto nível comunicarem directamente com o MIHF que se responsabiliza por traduzir essa comunicação para a tecnologia pretendida. A comunicação entre estas entidades de alto nível (denominadas no IEEE 802.21 como *MIH-Users*) e o MIHF, e entre o MIHF e as camadas tecnológicas, é realizada através de pontos de serviço (*Service Access Point, SAP*) que fornecem primitivas para o controlo das entidades em questão. Nesta perspectiva, o MIHF fornece a *MIH_SAP* que contém primitivas genéricas, utilizáveis pelos *MIH-Users* para controlar as camadas tecnológicas de forma abstracta. Por sua vez, o MIHF acede às diversas camadas tecnológicas utilizando SAPs fornecidos por cada tecnologia. Esta propriedade de abstracção fornecida pelo IEEE 802.21 potencia cenários de redes heterogéneas, onde é necessário obter informação e controlar entidades de tecnologias diversas, de forma a contemplar optimizações de *handovers* entre diferentes tecnologias.

A mesma informação trocada entre diferentes camadas de uma mesma entidade também pode ser partilhada de forma remota entre entidades diferentes. O IEEE 802.21 providencia o protocolo 802.21, permitindo a troca de mensagens entre MIHFs existentes em diferentes entidades. Assim, utilizando este protocolo, tal como é possível a um *MIH-User* enviar comandos para as camadas tecnológicas através do MIHF local, também é possível enviar comandos para as camadas tecnológicas de uma outra entidade remota através do MIHF remoto. Da mesma forma, as camadas tecnológicas também podem enviar eventos para *MIH-Users* existentes em entidades remotas, através do protocolo 802.21. Esta comunicação entre o MIHF local e o MIHF remoto utiliza informação definida pelo protocolo 802.21 (i.e., mensagens com cabeçalho e corpo definidos) e pode ser transportada tanto por L2 (através de tramas de gestão) como por L3 (usando protocolos de transporte como UDP e TCP).

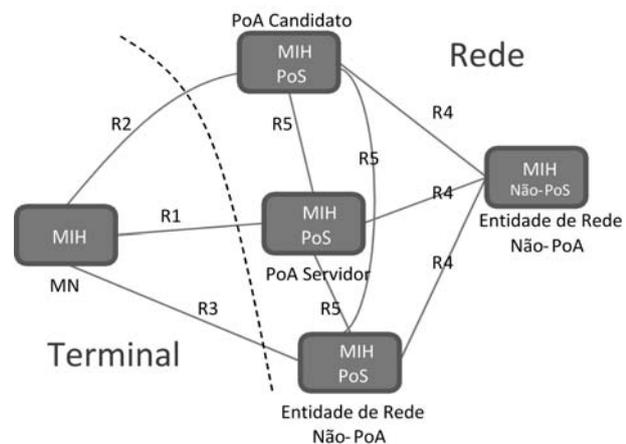


Fig. 1 - Modelo de comunicação do IEEE 802.21

Na figura 1 está representado o modelo de comunicação do IEEE 802.21, com as suas entidades funcionais e interfaces associadas, onde a tecnologia MIH está implementada tanto em terminais móveis como em entidades de rede. Uma enti-

dade de rede é classificada como sendo um ponto de ligação (*Point of Attachment, PoA*) quando esta é o último ponto de contacto L2 entre a rede e o terminal (e.g., um AP no caso de IEEE 802.11). Uma entidade de rede é classificada como sendo um ponto de serviço *Point of Service, PoS* quando a mesma possui um MIHF que troca mensagens com o MIHF existente num terminal.

O trabalho apresentado neste artigo contempla *handovers* verticais (i.e., entre diferentes tecnologias) entre IEEE 802.11 (WLAN) e sistemas celulares (3G), explorando a interface R3 indicada na figura 1, implementando os serviços de comandos e eventos necessários para detecção de novas redes, bem como início e execução de *handovers*. O controlo exercido pelo 802.21 utilizado neste trabalho é complementado com a utilização do protocolo *Mobile IP (MIP)* [1]. O MIP providencia a manutenção de conectividade (através do mesmo endereço IP) a terminais móveis que se movam de um *router* de acesso para outro, independentemente da tecnologia por ele suportada. Baseia-se na existência de um *Home Agent*, na criação de uma *Care-of Address* quando estiver numa nova rede, e no estabelecimento de túneis (ou actualizações do encaminhamento) entre a rede inicial e a rede visitada.

III. CENÁRIO DE SIMULAÇÃO

Como foi referido na secção II, o trabalho descrito neste artigo explora a interface R3 do 802.21, entre o terminal e o PoS. A sinalização do plano de controlo, usando o protocolo 802.21, é integrada com a sinalização do Mobile IP para actualização do plano de dados. O simulador OM-NeT++¹ foi seleccionado para a realização destes testes, em que cada cenário foi simulado usando 60 iterações aleatórias, com intervalo de confiança a 95%.

O cenário contemplado contém uma área de cobertura global através de tecnologias celulares, que se encontra permanentemente disponível, e que é complementada por vários *hotspots* WLAN, uma situação comum nos dias de hoje. O terminal móvel realiza *soft-handovers*² utilizando diferentes interfaces.

Quando o terminal móvel alcança uma célula WLAN, irá informar a rede (o PoS) do novo *link*, utilizando sinalização 802.21. A rede, ao receber essa sinalização, obtém assim informação relativamente ao identificador do terminal (e.g., endereço IP) e do ponto de acesso (e.g., endereço MAC). Com estes indicadores, poderá obter informação apenas existente na rede como o perfil do utilizador e a carga de utilização da célula WLAN, e utilizar esses elementos para a realização de uma decisão de *handover*. Caso essa entidade determine que um *handover* é executável, envia um comando 802.21 para o terminal iniciar a transição de *link*.

Este trabalho pretende assim analisar o impacto da sinalização IEEE 802.21 em *handovers* iniciados e controlados pela rede, verificando como as decisões tomadas pela rede podem afectar favoravelmente a mobilidade do terminal.

¹<http://www.omnetpp.org>

²*Handover* em que os recursos que suportam os fluxos de tráfego estão continuamente disponíveis enquanto o terminal executa o *handover*.

A. Sinalização IEEE 802.21

A seguinte figura apresenta a sinalização IEEE 802.21 adoptada para a realização do processo de *handover*.

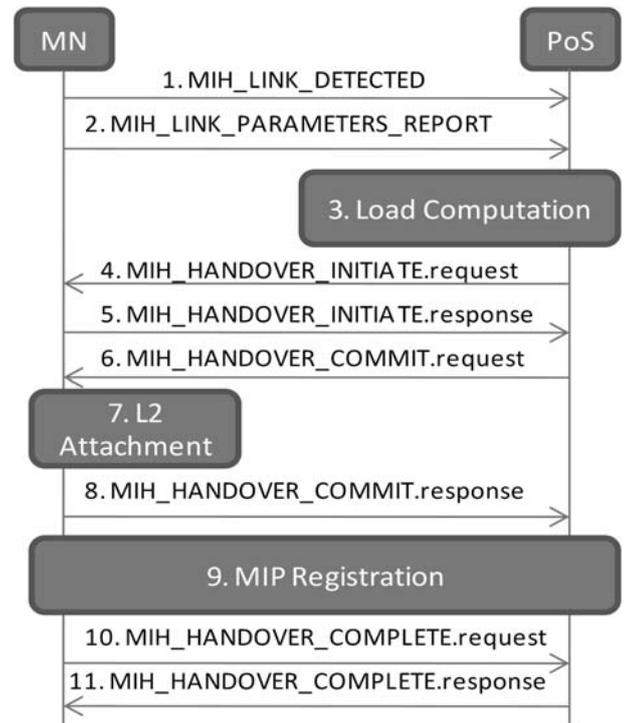


Fig. 2 - Sinalização para *handover* 3G→WLAN e WLAN→3G

Esta sinalização é utilizada em ambos os tipos de *handover*, 3G→WLAN e WLAN→3G. No caso de 3G→WLAN, o fluxo de sinalização assume que o terminal está ligado à rede 3G e aproxima-se de uma célula WLAN. Assim que um ponto de acesso (AP) é detectado através do processo de *scanning*, o MIHF do terminal recebe um evento da camada de *link* e envia a mensagem (1) num pacote UDP para o PoS, indicando o endereço MAC do AP que servirá de identificador do mesmo. A esta mensagem segue-se a mensagem (2), onde informação relacionada com alterações na potência de sinal são fornecidas ao PoS.

O PoS pode então verificar, internamente, informação relacionada com o AP e identificar se é um alvo viável para a realização de um *handover*. A informação verificada pode ser, por exemplo, a carga actual do AP bem como o perfil de utilizador do terminal. Após avaliação da carga do AP (3) no PoS, a mensagem (4) é recebida no terminal que responde com a mensagem (5), informando se o *handover* é realizável ou não. Esta situação depende-se com o facto de que, apesar do *handover* ser comandado pela rede, o terminal poderá já estar demasiado afastado do AP (devido à velocidade do terminal), tornando o *ineficaz*. O PoS, após recepção desta mensagem, envia a mensagem (6). O terminal processa este diagrama no MIHF, enviando um comando à camada de *link wireless*, no passo (7). Neste passo, o terminal realiza a associação ao AP indicado no comando pelo PoS. Após associação bem-sucedida, a mensagem (8) é enviada ao PoS. O terminal avalia continuamente o sinal relativo ao AP a que associou e, caso as

condições de potência de sinal se encontrem favoráveis (i.e., se o valor de potência de sinal se encontra dentro de parâmetros pré-configurados no terminal) este desencadeia um *handover* de *layer 3* (L3), ou seja, o mecanismo de Mobile IP. Após ocorrência bem-sucedida deste mecanismo, a mensagem (10) é enviada para o PoS, que responde com a mensagem (11). Finalmente, o terminal é capaz de receber tráfego como resultado do mecanismo Mobile IP.

Relativamente ao caso de *handover* WLAN→3G, o terminal encontra-se associado a um AP, e o MIHF avalia continuamente a potência de sinal do mesmo. Quando um valor de limiar, pré-configurado no terminal, é atingido, o MIH despoleta o envio da mensagem (2) para o PoS, indicando a deterioração da potência de sinal recebido. Este irá iniciar uma troca de mensagens semelhante à do caso de *handover* 3G→WLAN, excepto a mensagem (1) uma vez que, neste trabalho, assume-se o *link* 3G sempre activo (i.e., o contexto PDP está sempre activo).

B. Arquitectura do Terminal

Para este trabalho, a arquitectura do terminal é composta por um sub-conjunto das funcionalidades do *Media Independent Handover Protocol* definido em [7], concentrando-se na análise da sinalização necessária para a realização de *handovers* enquanto o terminal se move a diferentes velocidades. Assim, assume-se nesta arquitectura que os processos de descoberta entre entidades que suportam o MIH e respectivo registo já ocorreram.

A ocorrência de *handover* no terminal é estimulada pela análise da qualidade de sinal de células WLAN. Um MIHF implementado no terminal recolhe eventos das camadas de *link*, que são despoletados quando a qualidade de sinal *wireless* ultrapassa um limiar pré-estabelecido. São configurados dois limiares: 3G→WLAN e WLAN→3G, que estabelecem os valores a partir dos quais se deve proceder a um *handover* para a tecnologia alvo. Estes eventos são fornecidos a uma entidade de decisão de *handover* que processa o valor e determina a exequibilidade de um *handover*. Utilizando o protocolo 802.21, o MIHF existente no terminal pode enviar esta informação para uma entidade na rede, o *Point of Service*, que colhe os valores da qualidade de sinal observados pelo terminal, e verifica a possibilidade de *handover* para a rede alvo.

Esta troca de mensagens permite ao terminal fornecer informação actualizada acerca das condições da rede *wireless* ao PoS, bem como receber comandos remotos para a inicialização do *handover*. Os eventos que despoletam esta troca de informação são os seguintes: 1) LINK_DETECTED, quando o terminal detecta uma nova célula *wireless*, 2) LINK_PARAMETERS_CHANGE, quando a potência de sinal recebida pelo terminal ultrapassa um limiar previamente definido, e 3) LINK_UP, que indica a associação bem sucedida do terminal a um AP. Estes eventos são recebidos pelo MIHF no terminal, e são enviados para o MIHF do PoS. Os dois primeiros eventos fornecem uma indicação de que condições favoráveis para a ocorrência de *handover* estão presentes, e podem resultar em sinalização de inicialização de *handover* entre as duas entidades.

Quando o comando de inicialização de *handover* é recebido do PoS, o terminal poderá associar-se à célula *wireless*. Posteriormente, o terminal continua a analisar o valor da força de sinal, e quando este valor ultrapassa o limiar 3G→WLAN, um *handover* L3 pode desencadear-se. Nesta fase, ocorre a sinalização de MIPv6 actualizando o novo *Care-of Address* do terminal no *Home Agent*, mantendo a conectividade do terminal na nova rede. Devido ao limiar 3G→WLAN configurado, e também tendo em conta a velocidade do nó e o atraso causado pela sinalização, a associação do terminal à rede *wireless* poderá não levar à realização do processo de MIPv6. Esta é uma das métricas que foram analisadas por simulação, estudadas na secção III-D. Uma vez que se está perante uma análise de *handovers* inter-tecnologia *make-before-break*, o terminal tentará estabelecer a nova ligação antes de terminar a anterior.

Quando o terminal está ligado à rede *wireless*, e o MIHF verifica que a potência de sinal já não é favorável à estadia nessa rede, um *handover* WLAN→3G é despoletado. Assim, o terminal inicia a troca de sinalização com o PoS, potencialmente resultando num *handover* para a rede 3G.

Durante a realização deste trabalho, avaliando o algoritmo de *handover* mais adequado para o terminal, decidiu-se realizar a sinalização MIH assim que o terminal alcança a célula WLAN. Assim, quando a potência de sinal atinge o limiar 3G→WLAN, a sinalização MIPv6 é enviada para completar o *handover* L3. A utilização deste modelo leva a uma carga maior da sinalização MIH, mas evita possíveis demoras associadas à completação da sinalização MIH, entre a detecção de uma célula *wireless* e o processo de *handover* L3.

C. Arquitectura do PoS

O PoS é uma entidade de rede cujo MIHF se registou no MIHF do terminal, ficando apto a receber os seus eventos e podendo enviar comandos. Através das mensagens recebidas, o PoS verifica a posição do terminal tendo em conta as indicações de quais as células WLAN que este detecta, bem como a qualidade do sinal recebido. Posteriormente, o PoS pode enviar um comando para iniciar o processo de *handover*, dependendo da carga de utilizadores presentes no AP alvo. O PoS é composto por um nó da rede que implementa um MIHF com a capacidade de enviar e receber sinalização MIH encapsulada em tramas UDP e um algoritmo de decisão, apresentado na figura 3.

D. Métricas de Simulação

Uma vez que o âmbito deste trabalho depreende-se com a análise da sinalização para mobilidade controlada pela rede utilizando a norma IEEE 802.21, as seguintes métricas de sinalização foram analisadas:

- Percentagem média de associações L2 que não resultaram num *handover*;
- Número médio de *handovers* 3G→WLAN;
- Número médio de *handovers* WLAN→3G;
- Tempo médio de utilização da rede *wireless*;

Com a primeira métrica pretende-se verificar a ocorrência de situações em que o terminal detecta uma célula WLAN

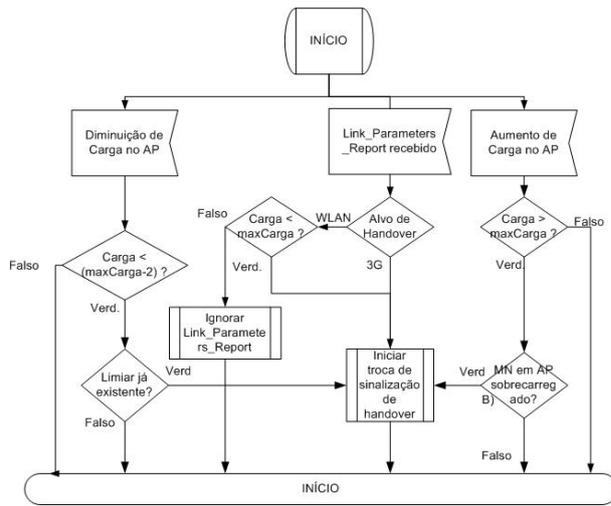


Fig. 3 - Máquina de estados para o PoS

e inicia a troca de sinalização apresentada na figura 2 mas, após receber a mensagem (6), o valor da potência de sinal nunca ultrapassa o valor do limiar 3G→WLAN. De notar que tal ocorrência não demonstra uma falha de comunicação mas, devido à velocidade do terminal, à configuração e ao atraso provocado com a troca de informação com o PoS, o terminal encontra-se já demasiado afastado do AP (e consequentemente experimenta uma má qualidade de sinal) para desencadear o *handover* L3. A segunda e terceira métrica contabilizam o número médio de *handovers* por simulação, e a última contabiliza o tempo médio de utilização da rede *wireless*.

E. Configuração do Ambiente de Simulação

Nesta secção apresenta-se o ambiente de simulação utilizado para avaliar o modelo proposto. O estudo foi efectuado pela simulação de um terminal móvel ligado a uma rede 3G, e realizando vários *handovers* entre a rede 3G e rede WLAN, variando a sua velocidade e o valor de limiar utilizado para despoletar os *handovers*. Note-se que, para o caso em análise, não existe sobreposição das células WLAN, não se manifestando casos de *handover* WLAN→WLAN.

O padrão de movimento utilizado é o *Random Waypoint Mode*, onde o terminal se move entre pontos uniformemente distribuídos. A velocidade do terminal móvel toma os valores de 2m/s, 5m/s e 10m/s, sendo cada um deles analisado em separado. Os limiares de 3G→WLAN e WLAN→3G tomam valores entre os -75dBm e -65dBm.

O canal 3G foi modelado através de uma ligação PPP com um tempo de ligação de 3.5 segundos, tempo de desconexão de 100ms, largura de banda de 384kbps (*downlink*) e atraso variável entre 100ms a 150ms³.

A cobertura WLAN é fornecida por APs distribuídos numa área quadrada de 500x500 metros, cada um ligado a um *Access Router*. O cenário também contém um *Home Agent* para a realização dos processos MIPv6, um servidor áudio que envia um fluxo de dados constante para o terminal, e o PoS com o qual o terminal troca a sinalização 802.21. O

³Valores obtidos com uma placa 3G comercial

fluxo de dados áudio é em *downstream*, com um tamanho de pacote de 160 bytes (na camada aplicacional) e um tempo entre chegadas de 20ms (83kbps). De notar que tipicamente os *codecs* VoIP geram taxas na ordem dos 80kbps e, portanto, o seu padrão de tráfego é bastante semelhante ao simulado neste ambiente.

IV. RESULTADOS

Nesta secção são apresentados os resultados da simulação do modelo proposto nas secções anteriores.

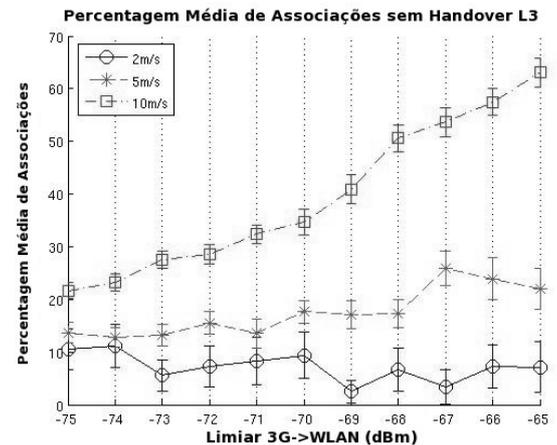


Fig. 4 - Percentagem média de associações que não foram seguidas de um *handover* L3, com o limiar WLAN→3G configurado a -75 dBm

A figura 4 apresenta a percentagem de associações L2 que não foram seguidas de um *handover* L3, portanto *handovers* falhados. Na figura são consideradas as velocidades de 2m/s, 5m/s e 10m/s. Pode-se observar que ao variar o valor do limiar 3G→WLAN de -75dBm a -65dBm, a percentagem de associações L2 que não foram seguidas por um *handovers* aumentam até cerca de 65% no caso da velocidade de 10m/s. As curvas mostram uma forma semelhante para os casos das velocidades de 2m/s e 5m/s. Como pode ser observado, as curvas demonstram uma tendência para aumentar enquanto o valor do limiar 3G→WLAN sobe. Esta é uma consequência directa da sinalização implementada. À medida que o limiar 3G→WLAN aumenta (em dBm), o terminal precisa de estar mais perto do AP para realizar um *handover* para WLAN. Ou seja, a probabilidade de realizar um *handover* L3 deveria ser maior. No entanto, uma vez que a sinalização que ocorre é afectada pelo *return-trip time* das ligações, esta troca de informação aumenta a probabilidade de sair da célula antes de receber o comando de início de *handover*. Dependendo da velocidade do terminal, este comportamento pode ser dominante, como é visível no gráfico pertencente aos 10m/s.

A figura 5 apresenta o número médio de *handovers* obtidos, variando o limiar 3G→WLAN. O impacto da velocidade afecta a métrica de diferentes formas dependendo da configuração considerada. No valor de -75dBm o número de *handovers* é bastante grande especialmente considerando um alto nível de mobilidade, ao passo que decresce e converge para valores maiores do limiar. O decaimento da curva nas diferentes velocidades está relacionado com as falhas de *handover* apresentadas na figura

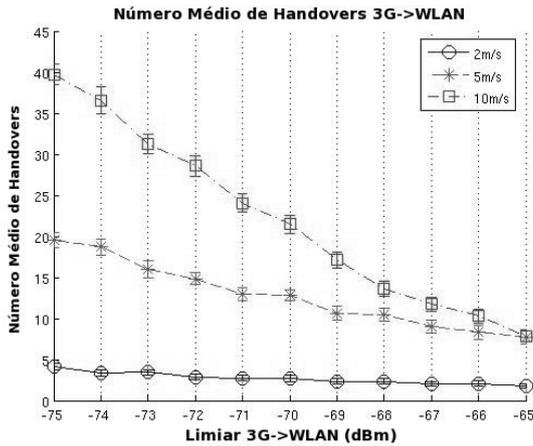


Fig. 5 - Número médio de *handovers* 3G→WLAN, com o limiar WLAN→3G configurado a -75 dBm

4. O gráfico mostra como os valores tendem a convergir, quando o limiar 3G→WLAN aumenta. O gráfico referente ao número de *handovers* entre WLAN e 3G é simétrico. É interessante notar que quanto mais perto (e mais tardiamente) do AP o terminal iniciar o *handover*, menor a possibilidade de executar um *handover* completo.

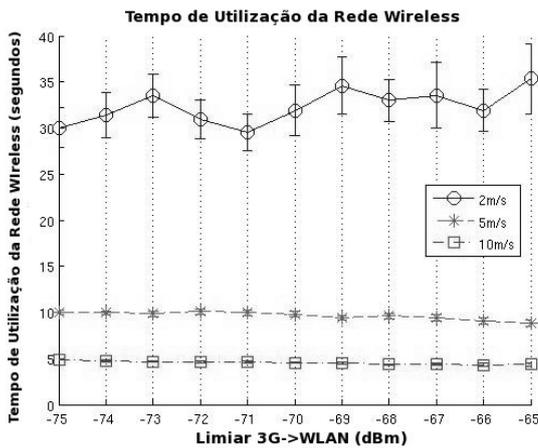


Fig. 6 - Tempo médio de utilização da rede *wireless* (unidade de tempo por *handover*)

A figura 6 mostra o tempo médio de utilização *wireless* tendo em conta as três diferentes velocidades. O comportamento observado é uma resposta linear face ao aumento do limiar.

Tendo em conta estes resultados, pretendeu-se avaliar qual o impacto de diferentes cargas de utilização nas células *wireless*. Para cada AP foi utilizado um processo de nascimento-morte de Poisson, maximizado a um número máximo de utilizadores por AP. Foram simuladas diferentes taxas entre-chegadas de utilizadores, variando a carga na rede entre 50% e 100%.

A figura 7 representa o número de associações aos APs, em cenários com carga de utilização. O comportamento é o mesmo verificado na figura 4, uma vez que a entidade de decisão da rede toma sempre em conta a informação relativa às células *wireless* e qualidade de sinal enviadas pelo terminal.

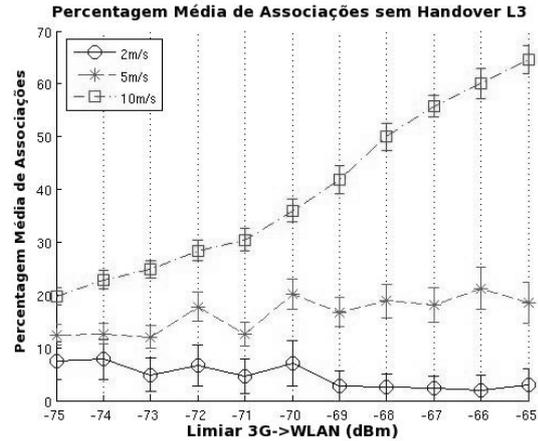


Fig. 7 - Percentagem média de associações que não foram seguidas de um *handover* L2, com o limiar WLAN→3G configurado a -75 dBm. Cenário com carga de utilização.

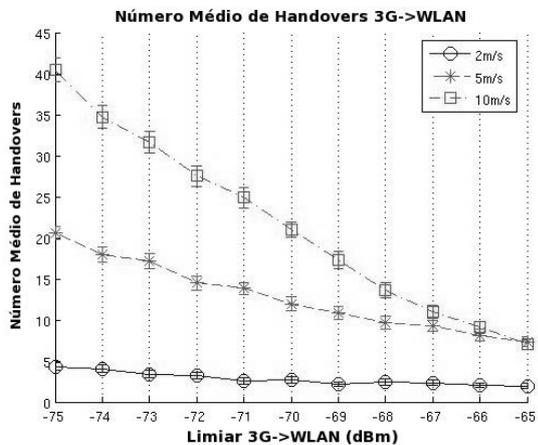


Fig. 8 - Número médio de *handovers* 3G→WLAN, com o limiar WLAN→3G configurado a -75 dBm. Cenário com carga de utilização.

A figura 8 mostra o número de *handovers* para a WLAN. A métrica é directamente afectada pela carga existente na rede, uma vez que é verificável um número inferior de *handovers* quando comparada com a figura 5. Note-se que as velocidades mais baixas, 2m/s e 5m/s, não são tão afectadas como a velocidade mais alta, 10m/s.

Velocidade (m/s)	Sem carga	50% capacidade	100% capacidade
2	32,35s	30,9s	25,87s
5	9,65s	9,46s	9,05s
10	4,53s	4,55s	4,45s

TABELA I
TEMPO DE UTILIZAÇÃO DA REDE *wireless* TENDO EM CONTA DIFERENTES VALORES DE CARGA DE UTILIZAÇÃO

A tabela I compara o tempo de utilização da rede *wireless* com e sem carga na rede, tendo em conta valores de capacidade entre os 50% e 100%. Comparando estes resultados, verifica-se mais uma vez que as velocidades mais altas, 10m/s, são mais afectadas. Este comportamento pode ser

explicado pelo facto de que *handovers* controlado pela rede reduzem o número de *handovers* e ao mesmo tempo contribuem para um aumento do tempo de utilização da rede, evitando assim *handovers* desnecessários em que o terminal apenas permanece alguns instantes na rede *wireless*.

V. CONCLUSÃO

Este trabalho apresenta um modelo que integra a norma IEEE 802.21 e o Mobile IP para comunicação heterogénea. Foram realizadas simulações que avaliaram um cenário misto de ambientes 3G e WLAN. Os resultados mostraram que a utilização do 802.21, além de fornecer capacidades e serviços independentes do tipo de tecnologia, quando aliados a uma arquitectura em que os *handovers* são controlados pela rede, contribui para um comportamento melhorado da mobilidade.

Este estudo foi um dos primeiros, a nível mundial, que considerou gestão de *handovers* controlados por rede utilizando a norma IEEE 802.21, em cenários de redes heterogéneas. Os resultados aqui obtidos contribuíram para a integração dos serviços oferecidos pelo IEEE 802.21 em projectos europeus como o DAIDALOS⁴. Este trabalho, de aqui reportamos fundamentalmente as componentes desenvolvidas durante o projecto de 5º ano inicial, foi consolidado no âmbito de investigação europeia, tendo originado diversas publicações internacionais.

VI. AGRADECIMENTOS

Agradecimentos são devidos ao Dr. Telemaco Melia, António de La Oliva e Albert Vidal da NEC Labs (Heidelberg, Alemanha) pelas discussões e apoio na realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- [1] D. Johnson, C. Perkins, J. Arkko, e T. Henderson, "Mobility Support for IPv6", em *RFC 3775*. 2004, IETF.
- [2] H. Soliman, C. Catelluccia, K. El Malki, e L. Belier, "Hierarchical Mobile IPv6 Mobility Management", em *RFC 4140*. 2005, IETF.
- [3] R. Koodli, "Fast Handovers for Mobile IPv6", em *RFC 4068*. 2005, IETF.
- [4] F. Akyildiz, J. Xie, e S. Mohanty, "A survey of mobility management in next-generation all-IP based wireless systems", 2004, IEEE Wireless Communications.
- [5] S. McCann, W. Groting, A. Pandolfi, e E. Hepworth, "Next Generation Multimode Terminals", 2004, Fifth IEE International Conference on 3G Mobile Communication Technologies.
- [6] T. Melia, J. Jorhonen, S. Sreemanthula, V. Gupta, e R. Aguiar, "Network Initiated Handovers Problem Statement", 2006, IETF.
- [7] IEEE P802.21/D5.01, "Draft Standard for Local Metropolitan Area Networks: Media Independent Handover Services".

⁴Designing Advanced network Interfaces for the Delivery and Administration of Location independent, Optimised personal Services - <http://www.ist-daidalos.org/>