

Optimização de Custos/Proveitos em Sistemas de Comunicações Móveis de Banda Larga em Ambiente Urbano

Fernando J. Velez^{1,2} e Luis M. Correia²

¹DEM, Universidade da Beira Interior, 6201-001 Covilhã

²IT, Instituto Superior Técnico, Av. Rovisco Pais, 1049-001 Lisboa
fjv@ubi.pt, luis.correia@lx.it.pt

Apresenta-se um modelo para o 'lucro' em sistemas de comunicações móveis de banda larga (MBS - Mobile Broadband System), que permite estabelecer um compromisso entre o padrão de reutilização, K , a distância de cobertura, R , e a eficiência espectral, S_{ef} (que, por sua vez, resulta do tráfego multi-serviço). Comparando o cenário urbano com o de estradas principais para $R = 100$ m e $K = 2$, devido ao efeito da mobilidade elevada, obtém-se uma redução da eficiência espectral de 54 %; consequentemente, o proveito por canal básico (para dado lucro anual por quilómetro) tem que ser uma ordem de grandeza superior no cenário de estradas principais (0.045 contra 0.005 €/min). A médio prazo, enquanto o número de utilizadores for inferior a 70 % do número de utilizadores na fase madura, poderão utilizar-se células com $R = 200$ m, maximizando o lucro. Mais tarde, será necessário escolher valores inferiores para R de forma a aumentar a capacidade.

Introdução

Nos próximos anos, prevê-se uma grande procura de serviços de comunicações móveis multimedia com ritmos de transmissão superiores aos disponibilizados pelo UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). Estes novos sistemas, como por exemplo, os Sistemas de Comunicações Móveis de Banda Larga, MBSs (*Mobile Broadband Systems*), irão operar na banda das ondas milimétricas.

O MBS será desenvolvido principalmente em zonas urbanas, na cobertura de zonas de elevada densidade de utilizadores, no centro de grandes cidades, estradas principais e auto-estradas, onde irá ocorrer uma procura elevada. Para além disso, os sistemas do tipo MBS serão sistemas multi-serviço, ou seja, suportarão vários serviços simultaneamente sobre a mesma plataforma para utilizadores diferentes, ou mesmo para apenas um utilizador.

Embora não seja estritamente necessário que o MBS utilize a tecnologia ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), essa foi a hipótese considerada nos projectos RACE-MBS [1] (*Research on Advanced Communications in Europe – Mobile Broadband System*) e ACTS-SAMBA [2] (*Advanced Communications Technologies and Services – System for Advanced Mobile Broadband Applications*), sendo essa também a abordagem seguida neste trabalho. Nas redes ATM os recursos disponíveis são partilhados de forma a permitir a multiplexagem de diferentes fontes de tráfego, podendo-se tirar partido do ganho de multiplexagem estatística associado [3].

A optimização do MBS pode-se alcançar por obtenção de valores óptimos de uma função de custos/proveitos que considera os custos de construir e manter a infra-estrutura, e a forma como o número de canais disponíveis afecta os proveitos dos operadores. Para além disso, os custos fixos de licenciamento e leilões da banda de frequência (ou dos chamados *concursos de beleza*) também têm que ser considerados [4]. O modelo proposto para o 'lucro' permite estabelecer um compromisso entre o padrão de reutilização, a distância de cobertura [5] e a eficiência espectral. Na prática, as limitações impostas pela reutilização de frequências influenciam a componente de custos, através dos valores das distâncias de cobertura e do padrão de reutilização alcançados, enquanto que o tráfego multi-serviço

[6] determina os proveitos, em conjunto com os aspectos de reutilização de frequências. O tráfego multi-serviço permite determinar o número de canais disponíveis por célula e é obtido a partir das características da combinação de aplicações que acedem a esses recursos, através de componentes de dados e vídeo, e também pelo tráfego de mobilidade [7]. A carga (ou seja, a soma dos kb/s) é uma medida do tráfego suportado (resultante do multi-serviço) e depende dos valores de limiar das probabilidades de bloqueio e falha de handover.

Esta comunicação está organizada da seguinte forma. Começam-se por apresentar detalhes do conceito MBS. Depois, apresentam-se as componentes de custos/proveitos e o modelo para o custo líquido propriamente dito. Em seguida, apresentam-se os valores para os parâmetros de custo e descrevem-se algumas hipóteses de trabalho para os proveitos. Apresentam-se resultados para a eficiência espectral, o quociente proveito-custo num padrão celular e o custo líquido, comparando-se os cenários urbano e de estradas principais. Com base no custo líquido, em percentagem, também se discutem estratégias de desenvolvimento do sistema, na fase inicial e na fase madura. Finalmente, apresentam-se conclusões.

O Conceito MBS

Embora o OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) possa vir a ser uma solução para o MBS, neste trabalho considera-se a de TDMA/FDMA (*Time/Frequency Division Multiple Access*), seguindo-se a abordagem dos projectos da Comissão Europeia RACE-MBS e ACTS-SAMBA. Como o conceito MBS ainda não está completamente definido é importante clarificar as fronteiras em termos de ritmo de transmissão e cenários de operação (e mobilidade). Nos projectos sobre sistemas de comunicações móveis do programa RACE apresentou-se uma primeira definição do MBS e sistemas relacionados, onde se assumia que a operação do MBS começa precisamente onde a do UMTS termina. Embora, naquela altura, se tivesse assumido que o UMTS suporta ritmos de transmissão até 2 Mb/s em qualquer cenário [1], com a normalização do UMTS esse conceito evoluiu e a actual fronteira MBS/UMTS é a seguinte: 144 kb/s para aplicações de elevada mobilidade, 384 kb/s para aplicações de baixa e média mobilidade e 2 Mb/s para aplicações amovíveis [8].

Dado que o tráfego é multi-serviço, para as diferentes misturas de fontes de tráfego (voz, dados e vídeo), têm que se obter medidas de desempenho para a utilização de recursos, com base nas características da estrutura das tramas [2] e do protocolo MAC (*Medium Access Control*), o DSA++ (*dynamic slot allocation*). O protocolo DSA++ permite estender a multiplexagem estatística (típica do ATM) à interface rádio, permitindo satisfazer os requisitos dos utilizadores móveis e/ou sem fios. Reservando um contentor, formado por um número de *slots*, a estação de base (BS) define um canal como nas ligações orientadas à ligação [9]. Logo, podem-se aplicar as metodologias de análise de redes de comutação de circuitos, enquanto o protocolo MAC garante que o atraso máximo se mantém abaixo de um valor de limiar, que não afecte o desempenho das aplicações [10], nomeadamente das que são em tempo real.

Para cada cenário de desenvolvimento [11], é necessário uma classificação completa dos serviços e aplicações e a identificação dos seus parâmetros de caracterização [8]. Devido aos handovers frequentes, causados pela mobilidade de terminal elevada, o engenheiro de planeamento também terá que considerar a probabilidade de falha de handover (a probabilidade de um utilizador não ser bem sucedido na transferência da sua ligação de uma célula para outra). Quando se considera um único

serviço (e não se utilizam canais de guarda para handover), a probabilidade de falha de handover é igual à probabilidade de bloqueio [12]. Nesta comunicação considera-se a generalização desta abordagem para o multi-serviço [13].

A elevada capacidade pretendida para o MBS origina, em conjunto com as elevadas frequências de operação, a utilização de estruturas micro-celulares, sendo necessário instalar muitas BS. Para que haja eficiência nos custos, estas BS devem ser baratas, tanto no fabrico como na instalação; em particular, deverá existir um número reduzido de modelos, e a sua instalação não deverá necessitar de afinações complicadas. Em particular, no projecto MODAL [14] (*Microwave Optical Duplex Antenna Link*) propôs-se a utilização uma técnica alternativa para gerar ondas milimétricas utilizando a tecnologia optoelectrónica, oferecendo uma perspectiva de custos reduzidos de instalação e manutenção em relação às soluções convencionais.

Modelo de Custos/Proveitos

Componentes de Custos/Proveitos

A análise económica do MBS pode ser vista sob os pontos de vista de diferentes entidades: o subscritor, o operador de rede, o fornecedor de serviços, a entidade reguladora e o vendedor de equipamento [15]. Neste trabalho não se distinguem os dois, embora se esteja consciente que o operador e o fornecedor de serviços poderão vir a ser entidades diferentes nos futuros sistemas de comunicações móveis. Logo, considera-se o ponto de vista do operador/fornecedor de serviços, cujo objectivo principal é atingir os melhores resultados para o seu negócio. No processo de planeamento celular, o objectivo é determinar o ponto de operação óptimo que maximiza os proveitos esperados. Entre as decisões mais importantes incluem-se a escolha do tipo de tecnologia, a dimensão das células e o número de canais a utilizar em cada célula.

Nesta Secção, identificam-se as principais componentes de custos e proveitos (em particular as que têm uma relação directa com a distância de cobertura máxima e o número de grupos de frequência). Irão considerar-se os custos e os proveitos, durante um ano de operação, por unidade de comprimento (ou unidade de área) em (i) geometrias de cobertura linear e (ii) grelhas urbanas regulares.

Considera-se que o sistema tem uma estrutura de transmissão formada por um conjunto de portadoras, cada uma suportando uma estrutura de tramas TDMA, ou seja, uma BS compreende um número de emissor-receptores igual ao número de portadoras a ela atribuídos.

Os custos do sistema têm duas componentes principais: (i) custos de primeiro estabelecimento (planeamento da localização das células e sua instalação) e (ii) despesas de exploração (operação, administração e manutenção) [16], [17].

Os custos de primeiro estabelecimento contêm

- uma componente fixa (por ex., custos fixos de licenciamento e leilões da banda de frequência);
- uma componente proporcional ao número de estações de base (BSs) por quilómetro ou quilómetro quadrado (por ex., custos de instalação das BS e do hardware comum a todas elas);
- uma componente proporcional ao número total de emissor-receptores por km ou km².

Assume-se que os custos da ligação entre as BSs e as centrais de comutação, ou seja, a parte fixa da rede (por ex., o custo de estender a fibra óptica) não é um custo fixo. Pelo contrário, considera-se que esse custo é proporcional ao número de BSs, o que é verdade se, por exemplo, o operador móvel contratar este serviço a um operador da rede fixa.

Custos Líquido

De (1) e (3) resulta uma função de 'custo líquido' (em €/km/ano)

$$C_n[\text{€/km}] = C_{fi}[\text{€/km}] + \frac{C_{fb}[\text{€}]}{2R_{[\text{km}]}} + \frac{T}{K \cdot N_{op} \cdot (2R_{[\text{km}]})} \cdot (C_{fi}[\text{€}] - R_{vi}[\text{€}] \cdot S_{ef}), \quad (4)$$

Esta função pode ser simplificada considerando $C_{fi} = 0$. A análise dos casos com $C_{fi} \neq 0$ pode portanto ser feita comparando o 'custo líquido' obtido para $C_{fi} = 0$ com o custo fixo de limiar, $(-C_{fi})$. Se C_n for menor do que $(-C_{fi})$ o sistema será rentável.

Na geometria linear, o número de células por quilómetro é dado por $1/(2R_{[\text{km}]})$, enquanto que o 'custo líquido' por célula é dado pelo terceiro termo de (4); pode-se portanto definir o quociente proveito-custo num padrão de reutilização

$$r_c = \frac{T}{N_{op}} \cdot \frac{R_{vi}[\text{€}] \cdot S_{ef} - C_{fi}[\text{€}]}{C_{fb}[\text{€}]} \quad (5)$$

r_c representa o número de vezes que os proveitos num padrão de reutilização são superiores ao custo associado à instalação e manutenção das BSs (e equipamento e infra-estruturas associadas).

Por outro lado, nas grelhas urbanas regulares [4], a área útil das células é $2 \cdot l \cdot (2R - l/2)$ e, logo, o número de células por quilómetro quadrado útil é $1/[2 \cdot l_{[\text{km}]} \cdot (2R_{[\text{km}]} - l_{[\text{km}]} / 2)]$; como consequência, obtém-se a seguinte função de 'custo líquido' para $C_{fi} = 0$ (em €/km²/ano)

$$C_n[\text{€/km}^2] = \frac{1}{2 \cdot l_{[\text{km}]} \cdot (2R_{[\text{km}]} - l_{[\text{km}]} / 2)} \cdot C_{fb}[\text{€}] \left(1 - \frac{r_c}{K} \right) \quad (6)$$

Analisando esta função conclui-se que r_c deve ser maior do que o padrão de reutilização de forma a se obter um sistema rentável. Num sistema 2D, é bastante natural definir a função de custo em €/km²/ano. Contudo, de forma se fazer uma comparação quantitativa com a geometria de cobertura linear, pode-se considerar que as células são formadas por duas porções de rua ortogonais que formam um cruzamento, cada uma com comprimento equivalente $(2R - l/2)$ e largura l . Logo, para cada segmento de rua que compõe a célula, considera-se a seguinte função de 'custo líquido linearizada'

$$(C_n)_{lin}[\text{€/km}] = \frac{1}{(2R_{[\text{km}]} - l_{[\text{km}]} / 2)} \cdot C_{fb}[\text{€}] \left(1 - \frac{r_c}{K} \right) \quad (7)$$

Esta função de 'custo líquido linearizada' pode ser bastante útil para fazer análises comparativas e pode portanto simplificar bastante a análise. Assim, pode-se comparar directamente as geometrias de cobertura linear e as grelhas urbanas. A ligeira diferença entre estas duas funções de custo advém da possibilidade de se ter diferentes valores de K e de uma ligeira diferença no número de células por quilómetro, pois, para valores baixos de R , $1/(2R_{[\text{km}]})$ é ligeiramente diferente de $1/(2R_{[\text{km}]} - l_{[\text{km}]} / 2)$.

Análise Económica

Parâmetros de Custos

O objectivo da análise económica é determinar o impacto da escolha de R e dos parâmetros de reutilização de frequências relacionados (por ex., o padrão de reutilização) na optimização do MBS. Os parâmetros de entrada da função de 'custo líquido' são, por exemplo, R , K , N_{op} , S_{ef} , C_{fb} , R_{vi} and C_{fi} . O padrão de reutilização em particular depende da banda de frequências e da geometria de cobertura e reutilização. Conseguem-se atingir $K = 3$ tanto na banda de 40 como de 60 GHz, enquanto que $K = 2$ só se atinge na sub-banda inferior da banda de 60 GHz [4]. Assume-se que cada operador utiliza uma largura de banda de 0.5 GHz, de um total 2 GHz e logo $N_{op} = 4$.

Como hipótese de trabalho, utilizam-se dados extraídos de [15], [18] para os custos e assume-se que o MBS será bem sucedido quando os custos de instalação da infra-estrutura e de operação do sistema forem da ordem de grandeza dos sistemas de voz actuais, ou seja, supõe-se que, embora os ritmos de transmissão disponíveis aumentem de geração para geração de um factor de $10 \cdot \sqrt{2}$ (de cerca de 10 kb/s no GSM para 144 kb/s no UMTS, e para 1 920 kb/s, em média, no MBS), os utilizadores não estarão dispostos a pagar muito mais por minuto de ligação (ou equivalente). Por exemplo, uma ligação unidirecional a 8 064 kb/s custará 4.2 vezes mais do que uma ligação a 1 920 kb/s, enquanto uma ligação a 384 kb/s (utilizando portanto apenas um canal básico) custará um quinto.

Com cada trama tem 48 *slots* [5], existem 48 unidades básicas de 384 kb/s associadas a uma portadora/emissor-receptor e logo podem-se suportar comunicações a $48/5 = 9.6$ vezes 1 920 kb/s; assim, pode-se considerar que o custo de um emissor-receptor MBS será 9.6 vezes o custo de um canal actual de segunda geração (note-se, no entanto, que uma portadora GSM tem oito canais de 9.6 kb/s, em vez de '9.6'). Como só se utilizam micro-células no MBS, consideram-se valores para custos correspondentes a células com distâncias de cobertura até 300 m [15]. Se os cálculos forem feitos a preços constantes [19], na aproximação de taxa de actualização anual nula, $C_{BS-tower}/N_{year}$ representa o custo anual do equipamento e infra-estrutura de uma BS ($C_{BS-tower}$ é o custo de estabelecimento de uma BS e N_{year} é a duração do projecto). Neste trabalho, considera-se $C_{BS-tower} = 20$ k€, $C_{mnt\&op} = 2.5$ k€/ano (o custo de manutenção e operação) e $N_{year} = 5$ para calcular

$$C_{fb} = C_{BS-tower}/N_{year} + C_{mnt\&op} \quad (8)$$

O custo dos canais é $C_{1920} = 300$ €/ano e logo tem-se

$$C_{fi} = 9.6 \cdot C_{1920} \quad (9)$$

Apresentam-se os custos em Euros (€), ao contrário do que acontece em [15], assumindo paridade entre o Dólar Americano e o Euro. Também se assume que o tempo de vida das torres das BSs é de cinco anos [15]. Uma análise económica completa, baseada no fluxo total de tesouraria (por ex., para calcular o valor actual líquido) necessitará de adaptações apropriadas. Quanto ao custo fixo de licenciamento e leilões da banda, num país como Portugal assume-se que $N_{op} = 4$ e que o custo fixo por quilómetro é $C_{fi} = 20\,000$ €/km/ano. Também se considera como hipótese de trabalho, que o proveito líquido alvo por quilómetro e por ano (de cada operador) é 130 ± 15 k€/km.

Hipóteses para os Proveitos

Tomando os custos e proveitos com base anual, seguiu-se a abordagem de considerar seis horas de ponta por dia (de forma equivalente), 240 dias de trabalho por ano [15] e um proveito por canal básico de 384 kb/s R_{384} [€/min]. Os proveitos são pois proporcionais à carga suportada pelo sistema, em kb/s, que se reflecte na análise através da consideração da eficiência espectral, S_{ef} . Como o tráfego de mobilidade tem um impacto elevado, escolhe-se a S_{ef} mínima entre os valores que resultam das restrições das probabilidades de bloqueio e de falha de handover (ou seja, entre os casos $P_b = 2\%$ e $P_{hf} = (P_{hf})_{max}(R)$). Consequentemente, o proveito por célula por ano é obtido da seguinte forma

$$(R_v)_{cell}[\text{€}] = \frac{6 \cdot 240 \cdot 60 \cdot S_{ef} \cdot T \cdot 48 \cdot R_{384}[\text{€/min}]}{K \cdot N_{op}} \quad (10)$$

onde $T \cdot 48 / N_{op}$ é o número de canais de 384 kb/s disponíveis na célula, onde 48 representa o número de *slots* por trama, ou seja, o número de canais básicos (de 384 kb/s) por portadora. Logo, tem-se

$$R_{vt} = 48 \cdot R_{384} \text{ (em €/min)} \quad (11)$$

o proveito anual por emissor-receptor (em Euro/ano) é

$$C_{fi} = 48 \cdot C_{1920} / 5 = 9.6 \cdot C_{1920}, \quad (12)$$

onde C_{1920} é o custo de um conjunto de canais que perfaz 1 920 kb/s. Considerando adicionalmente $T = 72$ e $C_{fi} = 0$ obtém-se

$$C_n [\text{€/km}] = \frac{1}{2R_{[\text{km}]}} \cdot \left[C_{fb} [\text{€}] - \frac{3456}{K \cdot N_{op}} (86400 \cdot S_{ef} \cdot R_{384} [\text{€/min}] - C_{1920} [\text{€}] / 5) \right] \quad (13)$$

para a geometria de cobertura linear, com a restrição de $3456/(K \cdot N_{op})$ ter que ser múltiplo de 48 (o número de *slots* por trama). Note-se que $T \cdot 48 = 3456$ representa a soma do número de *slots* de todas as portadoras (cada portadora contribuindo com uma trama).

Na Tabela 1, para além dos valores de C_{fb} e C_{1920} , apresentam-se os valores de R_{384} para oito casos diferentes (A, B, C, ..., H) e que serão utilizados nas legendas dos gráficos com resultados. Estes valores correspondem ao cenário urbano (URB) e $K = 3$ (288 canais/célula), na presença de mobilidade. Por exemplo, $R_{384} = 0.0075$ €/min corresponde ao caso F no cenário URB (realçado com um fundo cinzento na Tabela).

Tabela 1. Hipótese para $K = 3$, cenário URB.

C_{fb} [€/ano]	C_{1920} [€/ano]	R_{384} [€/min]							
		A	B	C	D	E	F	G	H
6500	300	0.00125	0.0025	0.00375	0.005	0.00625	0.0075	0.00875	0.01

Irão apresentar-se resultados para (i) $K = 3$ / cenário URB (288 canais/célula) e (ii) $K = 2$ / cenário ROA (estradas, 432 canais/célula).

Resultados

A eficiência espectral dá a percentagem de canais básicos (384 kb/s) que podem ser suportados para dadas probabilidades de bloqueio e de perda de chamadas ($P_b = 2\%$ e $P_d = 0.5\%$ [20]). Para o conjunto de serviços considerados nos cenários URB e ROA [11], obteve-se a eficiência espectral total suportada em função de R [20]. A partir daí, calculou-se o 'custo líquido' (tendo-se considerado o 'custo líquido linearizado' para o cenário URB), Fig. 2.a) (cenário urbano). Os valores de R_{384} são identificados com A, B, ..., G e H. Para os casos D-H, o proveito líquido (que é simétrico do custo líquido) aumenta se R diminui, correspondendo a um decrescimento do custo líquido.

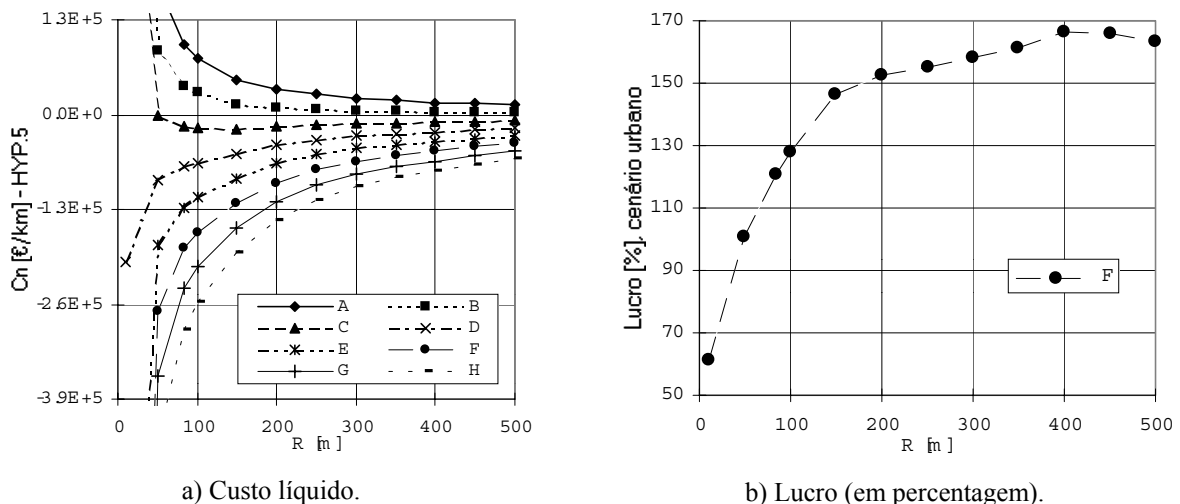


Figura 2. Custo líquido e lucro, cenário URB ($K = 3$).

É também importante analisar os valores obtidos para r_c (directamente proporcional a S_{ef}), C_n , e R_{384} , tal que o operador atinja um proveito líquido de 130 ± 15 k€/km/ano, enquanto que o custo fixo equivalente anual de licenciamento é 20 k€/km/ano, Tabela 2. Considerou-se $K = 2$ e 3 , $R = 100$ m e a presença de mobilidade [5] (correspondendo a número de utilizadores potencial numa célula $M_T = 100$ e 66 nos cenários URB e ROA, respectivamente). Também se incluem resultados para o número de utilizadores suportados por quilómetro e, de forma a permitir a comparação entre ambos os cenários, também se apresentam valores para $K = 2$ no cenário URB ($R = 100$ m).

Tabela 2. – Resultados para r_c , C_n e R_{384} ($R = 100$ m) na presença de mobilidade.

Cenário	K	M_T	r_c	C_n [€/km]	R_{384} [€/min]	Nº. utilizadores suportados/km
URB	2	100	10.49	-146 021	0.005	117
	3		17.07	-161 302	0.0075	74
ROA	2	66	11.68	-166 495	0.045	50

De forma a obter um ‘lucro’ anual de 150 k€/km (para dado R), R_{384} deve ser superior para os cenários com menor eficiência espectral associada. Por exemplo, comparando os cenários URB e ROA para $K = 2$, enquanto que a eficiência espectral toma valores de 32.2 e 15.2 %, o proveito de cada canal básico tem que ser $R_{384} = 0.005$ and 0.045 €/min, respectivamente. Ou seja, os preços no cenário ROA (onde a eficiência espectral toma claramente valores inferiores) têm que ser uma ordem de grandeza superiores relativamente ao cenário URB. A menor eficiência espectral no cenário ROA deve-se principalmente ao efeito da mobilidade elevada. Destes resultados para R_{384} , podem-se obter 'listas de preços' para o MBS. A cobrança é feita 'ao minuto' e não pelo volume pela informação. Contudo, o volume de informação reflecte-se no preço por minuto de cada componente de serviço, pois é proporcional ao ritmo de transmissão das componentes de serviço. Também é importante realçar que, como consequência desta abordagem, as aplicações ABR (*Available Bit Rate*) só serão cobradas pelo ritmo de transmissão mínimo garantido.

Analisando o lucro em função de R , Fig. 2.b) (cenário URB), verifica-se que para $R < 200$ m o lucro em percentagem começa a baixar de forma relevante. Como o investimento inicial associado a um sistema com células menores é muito maior (e não será imediatamente compensado com proveitos), as estratégias de desenvolvimento do MBS deverão considerar células maiores numa fase inicial (por ex., $R = 200$ m). Numa fase posterior, quando o número de utilizadores ultrapassar 70 % do número de utilizadores na fase madura [21], a instalação BSs adicionais entre as BSs iniciais disponibilizarão células mais pequenas e maior capacidade de sistema.

Conclusões

Apresentou-se um modelo para o 'custo líquido' que representa o compromisso entre o padrão de reutilização, K , a distância de cobertura, R , e a eficiência espectral, $S_{ef}(R)$. Este modelo permite otimizar o planeamento celular em geometrias lineares e grelhas urbanas MBS, possibilitando a determinação do proveito por canal que permite atingir um dado valor para o lucro por quilómetro. Verifica-se que a existência de configurações celulares rentáveis depende criticamente da relação entre o padrão de reutilização e o quociente proveito-custo num padrão celular. Obtiveram-se resultados para o quociente proveito-custo num padrão celular e para o ‘custo líquido’ para os casos cenário URB / $K = 3$ (e $K = 2$, com o objectivo de comparação) e cenário ROA / $K = 2$. De forma a alcançar um

‘proveito líquido’ anual de 150 k€/km, o proveito por canal básico deverá ser superior em cenários com menor eficiência espectral associada. Por exemplo, para $R = 100$ m e $K = 2$, nos cenários URB e ROA, o proveito de cada canal básico tem que ser $R_{384} = 0.005$ e 0.045 €/min, respectivamente, ou seja, os preços no cenário ROA (com mobilidade de terminal mais elevada) terão que ser cerca de uma ordem de grandeza superiores relativamente ao cenário URB. A médio prazo, enquanto o número de utilizadores for inferior a 70 % do número de utilizadores na fase madura, poderão utilizar-se células com $R = 200$ m, maximizando o lucro. Mais tarde, será necessário escolher valores de R inferiores, de forma a aumentar a capacidade. A continuação deste trabalho irá permitir comparar resultados obtidos em geometrias urbanas regulares e irregulares (recorrendo a uma ferramenta de planeamento celular).

Referências

- [1] L. Fernandes, "Developing a System Concept and Technologies for Mobile Broadband Communications", *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol.2, No.1, Feb. 1995, pp. 54-59.
- [2] M. Prögler and S. Svaet (eds.), *MBS Performance Evaluation*, ACTS-SAMBA Deliverable A0204/TN/PK/DS/P/014/b1, ACTS Central Office, Brussels, Belgium, 1999.
- [3] H. Saito, *Teletraffic Technologies in ATM Networks*, Artech House, Boston, MA, USA, 1994.
- [4] J. M. Brázio and F. J. Velez, "Design of Cell Size and Frequency Reuse for a Millimetrewave Highway Coverage Cellular Communications System," in *Proc. of PIMRC'96 - 7th IEEE International Symposium on Personal Indoor, and Mobile Radio Communications*, Taipei, Taiwan, Oct. 1996.
- [5] F.J. Velez, L.M. Correia and J.M. Brázio, "Frequency Reuse and System Capacity in Mobile Broadband Systems: Comparison between the 40 and 60 GHz Bands," *Wireless Personal Communications*, Vol. 19, No. 1, Oct. 2001, pp. 1-24.
- [6] G.A. Awater and H.A. van de Vlag, "Exact Computation of Time and Call Blocking Probabilities in Large, Multi-traffic, Multi-resource Loss Systems," *Performance Evaluation*, Vol. 25, No. 1, Mar. 1996, pp. 41-58.
- [7] F. J. Velez and L. M. Correia, "Capacity Trade-offs in Mobile Broadband Systems using Guard Channels for High Mobility Handover," in *Proc. of PIMRC' 98 - 9th IEEE International Symposium on Personal Indoor, and Mobile Communications*, Boston, Massachusetts, USA, Sep. 1998.
- [8] F.J. Velez and L.M. Correia, "Classification and Characterisation of Mobile Broadband Services," in *Proc. of VTC' 2000 Fall - IEEE Semi Annual Vehicular Technology Conference*, Boston, MA, USA, Sep. 2000.
- [9] A. Krämling, M. Scheibenbogen and T. Lohmar, "Dynamic Channel Allocation in Wireless ATM Networks," in *Proc. of ICT' 98 - International Conference on Telecommunications*, Porto Carras, Greece, Jun. 1998.
- [10] G. Anastasi, L. Lenzini, E. Mingozzi, A. Hettich and A. Krämling, "MAC Protocols for Wideband Wireless Local Access: Evolution Towards Wireless ATM," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 5, No. 5, Oct. 1998, pp. 53-64.
- [11] F.J. Velez and L.M. Correia, "Deployment Scenarios for Mobile Broadband Communications," in *Proc. of PIMRC' 2000-11th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, London, UK, Sep. 2000.
- [12] B. Jabbari, "Teletraffic Aspects of Evolving and Next-generation Wireless Communication Networks," *IEEE Personal Communications Magazine*, Vol. 3, No. 6, Dec. 1996, pp. 4-9.
- [13] F.J. Velez and L.M. Correia, "Capacity analysis in a Multi-service Mobile Broadband System," in *Proc. of EPMCC' 2001 - 4th European Personal and Mobile Communications Conference*, Vienna, Austria, Feb. 2001.
- [14] J. Fernandes and J. Garcia, "Cellular Coverage for Efficient Transmission Performance in MBS," in *Proc. of VTC' 2000 Fall - IEEE Semi Annual Vehicular Technology Conference*, Boston, MA, USA, Sep. 2000.
- [15] B. Gavish and S. Sridhar, "Economic Aspects of Configuring Cellular Networks," *Wireless Networks*, Vol. 1, No. 1, Feb. 1995, pp. 115-128.
- [16] D. Reed, "The Cost Structure of Personal Communication Services," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 31, No. 4, Apr. 1993, pp. 102-108.
- [17] J. Sarneki, C. Vinodrai, A. Javed, P. O' Kelly and K. Dick, "Microcell Design Principles," *IEEE Communications Magazine*, Vol. 31, No. 4, Apr. 1993, pp. 76-82.
- [18] B. Gavish and S. Sridhar, "The Impact of Mobility on Cellular Network Configuration," *Wireless Networks*, Vol. 7, No. 2, Apr. 2001, pp. 173-185.
- [19] S. Littlechild, *Elements of Telecommunications Economics*, IEE Telecommunications Series, Vol. 7, Peter Peregrinus, Stevenage, UK, 1979.
- [20] F.J. Velez and L.M. Correia, "Impact of Mobility in Mobile Broadband Systems Multi-service Traffic," in *Proc. of PIMRC' 2001-12th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*, San Diego, CA, USA, Oct. 2001.
- [21] F.J. Velez, *Aspects of Cellular Planning in Mobile Broadband Systems*, PhD Thesis, Instituto Superior Técnico, Technical University of Lisbon, Lisbon, Portugal, Dec. 2000.