

Simulador de Tráfego para Redes Móveis via Satélite

Pedro Tavares, José Ferreira, Manuel Dinis

Resumo - Na primeira parte desta comunicação é feita uma breve apresentação de alguns sistemas de comunicação móveis via satélite propostos por várias entidades, das principais técnicas de atribuição de canais e da problemática dos *handovers* em sistemas LEO e ICO. Na segunda parte apresenta-se o simulador de tráfego desenvolvido, assim como vários resultados de simulação para uma constelação do tipo LEO e outra do tipo ICO. O simulador permite calcular o tráfego a nível do *footprint* de um satélite e/ou dos seus *spotbeams* para vários instantes da sua trajectória.

Abstract - In the first part of the paper some mobile satellite communication systems proposed by various entities are briefly presented, some channel allocation techniques described and the problem caused by handovers in ICO and LEO type constellations is discussed. Afterwards the developed traffic simulator is presented along with various simulation results for a LEO and an ICO type constellation. The simulator permits the calculation of satellite traffic at footprint and/or spotbeam level in various instances of the satellite's trajectory.

I. INTRODUÇÃO

O crescimento acelerado do mercado das comunicações móveis celulares, ao longo da última década, demonstra as limitações das redes terrestres fixas para dar resposta às necessidades crescentes de mobilidade das pessoas. Apesar das redes de comunicações celulares continuarem-se a expandir, factores económicos impedem o seu avanço para zonas pouco povoadas. Áreas rurais, regiões de baixa densidade populacional situadas dentro de países industrializados e grandes áreas dos países em desenvolvimento estão destinadas a ser mal servidas ou a permanecerem fora do alcance dos serviços móveis terrestres. Os serviços móveis globais via satélite são particularmente apropriados para a extensão do alcance dos serviços celulares, complementando a cobertura móvel terrestre e provendo o meio pelo qual viajantes podem permanecer em contacto independentemente da sua localização. Por outro lado, os sistemas terrestres celulares não são mundialmente padronizados, o que significa que o equipamento utilizado num sistema celular não poderá operar numa rede incompatível noutra localização. Em contraste, cada sistema de comunicações móveis via satélite oferece uma norma mundial, sob a qual

o mesmo equipamento pode operar em qualquer ponto da Terra (dependendo da constelação usada).

O uso de órbitas LEO e ICO, contendo satélites em constante movimento relativamente a qualquer ponto da superfície terrestre, torna complexa a gestão do espectro e consequentemente a sua optimização/reutilização. Um dos aspectos em que as redes terrestres se diferenciam das redes de satélites, reside nas fortes variações de tráfego a que estes estão sujeitos durante a sua trajectória, isto porque áreas cobertas por mar ou oceanos apresentam uma densidade de tráfego muito menor do que as restantes partes do planeta.

II. COMUNICAÇÕES MÓVEIS VIA SATÉLITE

A. Órbitas para Sistemas de Telecomunicações

Apesar das leis de Kepler teorizarem que os parâmetros orbitais (determinados pelas condições iniciais na colocação do satélite em órbita), responsáveis pela forma da órbita, permanecem sempre constantes durante a vida do satélite, verifica-se que na prática são necessárias operações de controlo da órbita, podendo estas ser minimizadas escolhendo determinados valores de parâmetros orbitais, de acordo com o tipo de comunicações a serem efectuadas pelo satélite. Esta aparente discrepância é explicada se se considerar que no centro de massa do satélite, actuam para além da força de atracção universal e da força centrífuga, outras que provocam perturbações na órbita e que são induzidas por factores como a contribuição das partes não esféricas da Terra na atracção terrestre, a atracção do Sol e da Lua, a pressão da radiação solar, a resistência aerodinâmica do satélite e a propulsão dos seus motores. Descrevem-se a seguir as órbitas frequentemente utilizadas em sistemas de telecomunicações.

As órbitas geoestacionárias (GEO) são circulares no plano equatorial com um período igual ao da rotação da Terra. Os satélites nestas órbitas encontram-se a 35786 km de altitude parecendo fixos quando observados da Terra e o *footprint* pode cobrir cerca de 1/3 da superfície terrestre pelo que uma cobertura quase global pode ser conseguida com apenas 3 satélites. As grandes desvantagens dos sistemas de comunicação de voz,

baseados em satélites geoestacionários, têm a ver com a grande altitude a que estes se encontram, o que provoca atrasos de propagação de cerca de 250 ms para além de uma elevada atenuação implicando o uso de *transceivers* com potências consideráveis.

As órbitas baixas (LEO) podem ser elípticas ou circulares a uma altitude inferior a 2000 km da superfície da Terra. O período da órbita a estas altitudes varia entre 90 e 120 minutos e o raio do *footprint* de um satélite de comunicações nesta órbita varia entre 3000 e 4000 km. O tempo máximo durante o qual um satélite está acima do horizonte para um observador na Terra é cerca de 20 minutos. Se por um lado, um sistema de comunicações global usando este tipo de órbita, requer um grande número de satélites em várias órbitas inclinadas, por outro lado, a baixa altitude a que se encontram os satélites, faz com que estes sistemas sejam os ideais para o uso de terminais móveis de tamanho e peso reduzidos, devido à pequena atenuação existente e aos imperceptíveis atrasos de propagação (inferiores a 14 ms). Estão anunciados vários sistemas usando estas órbitas como o GLOBALSTAR (48+8 satélites em 8 planos orbitais a 1400 km de altitude) e o IRIDIUM (66+6 satélites em seis planos orbitais a 780 km de altitude). O satélite português PoSat, construído em 1993 e lançado numa órbita com raio de 800 a 822 km e inclinação 98.6° é também um exemplo de utilização destas órbitas.

As órbitas intermédias (ICO) são circulares a uma altitude de 10000 km a 20000 km. O seu período orbital ronda as 6 horas e o máximo tempo durante o qual um satélite numa órbita intermédia está acima do horizonte, para um observador na Terra, resume-se a poucas horas. Um sistema de comunicações global usando este tipo de órbita, requer um número modesto de satélites em 2 ou 3 planos orbitais, para conseguir uma cobertura total. Os satélites em órbitas intermédias são operados de igual forma aos das órbitas baixas. No entanto, comparado com um sistema LEO, os *handovers* são menos frequentes e os atrasos de propagação e as perdas em espaço livre são maiores. Estão também anunciados sistemas de comunicações móveis que utilizaram estas órbitas como por exemplo o sistema ICO (10+2 satélites em dois planos inclinados a 10355 km de altitude) e o ODYSSEY (12+3 satélites em 3 planos inclinados a 10355 km).

Nas órbitas elípticas (HEO) a velocidade do satélite não é constante, sendo máxima no perigeu e mínima no apogeu, assim o satélite irá passar cerca de dois terços do período orbital na vizinhança do apogeu e durante esse tempo parece ser quase estacionário para um observador na Terra. Este efeito é tanto maior quanto maior for a excentricidade da órbita. As HEOs têm tipicamente um perigeu superior a 500 km acima da superfície da Terra e um apogeu de 50000 km. As órbitas estão inclinadas 63.45° de forma a providenciarem serviços de comunicações nas latitudes mais elevadas. O período da órbita varia entre 8 e 24 horas. As perdas em espaço livre e os atrasos de propagação para este tipo de órbitas são comparáveis aos dos satélites geoestacionários. A

principal vantagem das órbitas elípticas inclinadas é assegurar uma cobertura em regiões de elevada latitude com um ângulo de elevação elevado usando satélites cujo movimento aparente em relação à Terra seja pequeno. Um ângulo de elevação elevado é particularmente importante em sistemas de comunicação móveis. Os sistemas russos Tundra e Molnya são exemplos de utilização destas órbitas (figura 1).

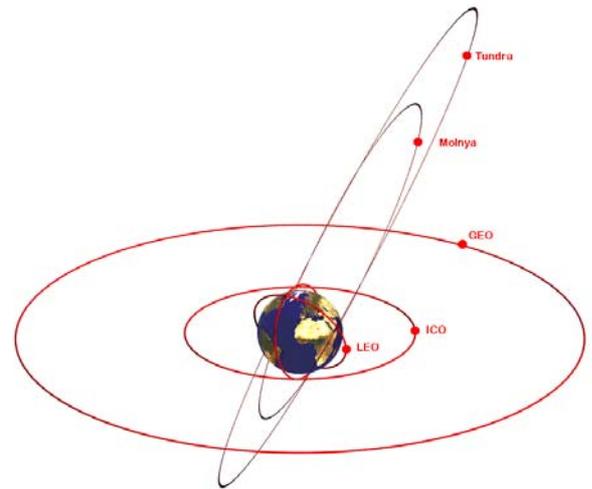


Fig. 1 - Posição das diferentes órbitas no espaço

B. Constelação ICO

Este sistema pretende fornecer um serviço global de telecomunicações via satélite de baixo custo. O sistema permitirá a transmissão de voz, dados, fax e *paging* através da utilização de terminais portáteis. Prevê-se que entre em funcionamento em meados de 1999 e que, em Setembro do ano 2000 esteja totalmente operacional.

O sistema é composto por 12 satélites, sendo 10 operacionais e 2 de reserva, em órbitas do tipo ICO, bem como por um segmento terrestre com cerca de 12 estações terrenas SAN (*Satellite Access Node*) interligadas entre si através de uma rede terrestre global, a ICONET e estrategicamente distribuídas pelo mundo, por forma a assegurar uma cobertura global e a garantir a eficiência do sistema. Cada SAN seguirá e servirá os satélites que forem ocupando o seu campo de visão, dirigindo as comunicações para o satélite que permita em cada altura a melhor qualidade de transmissão e a maior duração da chamada e procederá, quando necessário, ao *handover* para outro satélite, por forma a manter as comunicações sem interrupção.

A configuração espacial escolhida, com 10 satélites operacionais igualmente distribuídos em dois planos orbitais maximiza a diversidade de transmissão, isto é, a cobertura simultânea de uma dada região (figura 2) por mais do que um satélite, disponibilizando caminhos de transmissão alternativos.

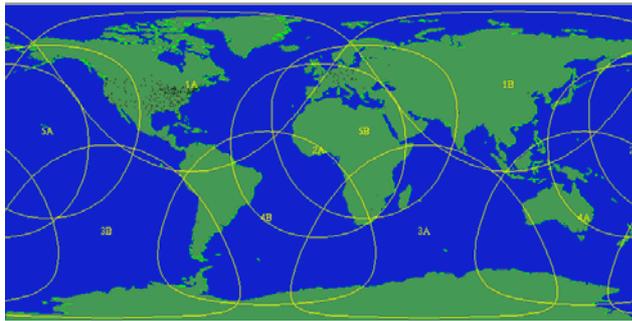


Fig. 2 - Footprint dos satélites da constelação ICO

A implementação do projecto está a cargo de uma empresa privada constituída para o efeito, com sede em Londres e que adoptou a designação de *ICO - Global Communications*. A Companhia Portuguesa Radio Marconi é detentora de cerca de 1.8% do capital, tendo investido perto de 4.5 milhões de contos no projecto.

C. Constelação GLOBALSTAR

À semelhança de outros sistemas de comunicações móveis via satélite, este permite a transmissão de voz, dados, *paging*, SMS (*Short Message Service*) e serviços de rádio - localização via satélite (RDSS).

O sistema é composto por 56 satélites, dos quais 48 operacionais e 8 de reserva, distribuídos por 8 planos orbitais com uma inclinação de 52°. O segmento terrestre é constituído por cerca de 200 estações terrestres, um número relativamente elevado quando comparado com outros sistemas. A cobertura deste sistema não é global e restringe-se às zonas entre +/-70° de latitude (figura 3).

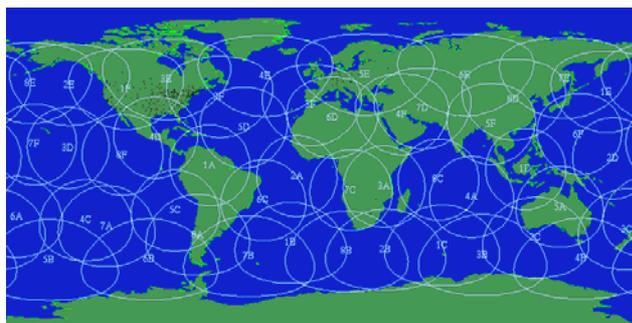


Fig. 3 - Footprint dos satélites da constelação GLOBALSTAR

D. Constelação IRIDIUM

O sistema IRIDIUM, suportado pela Motorola, é uma rede de cobertura mundial destinada a fornecer, a partir de 1998, serviços de voz, dados, *paging* e rádio - localização via satélite (RDSS). O sistema permitirá determinar a localização dos terminais portáteis, à medida que vão sendo transportados pelos seus utilizadores, fornecendo serviços personalizados e dedicados aos subscritores.

O segmento espacial é composto por 72 satélites, sendo 66 operacionais e 6 de reserva, distribuídos por 6 planos orbitais com uma inclinação de 86.4°, numa configuração LEO (figura 4). O segmento terrestre é constituído por cerca de 20 estações terrestres.

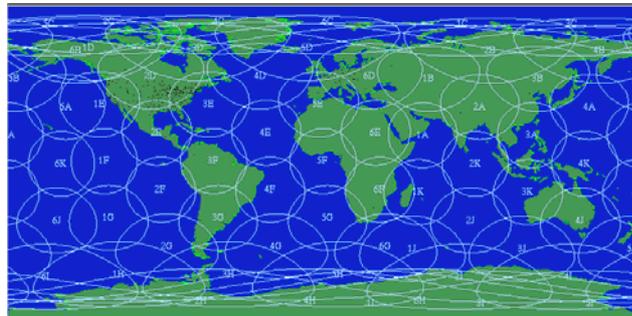


Fig. 4 - Footprint dos satélites - constelação IRIDIUM

III. TÉCNICAS DE ATRIBUIÇÃO DE CANAIS

A atribuição de canais num sistema pode ser efectuada recorrendo a várias estratégias e algoritmos, sendo genericamente possíveis duas técnicas: atribuição fixa ou dinâmica. Dada a escassez de espectro disponível, variabilidade do tráfego e os elevados padrões de qualidade de serviço requerido pelos utilizadores, cada vez se justifica mais o recurso a técnicas de atribuição dinâmicas. No caso dos sistemas móveis via satélite, a existência de um elevado número de *handovers* contribui de forma significativa para a degradação da eficiência das técnicas do tipo fixo.

A. Atribuição Fixa de Canais (FCA)

Uma política de atribuição fixa de canal, atribui permanentemente a cada célula um número fixo de canais e consequentemente uma chamada pode ser somente servida por um canal livre dessa mesma célula. Considerando como exemplo uma célula que tem *C* canais, esta só poderá aceitar *C* chamadas simultaneamente. Todas as chamadas que cheguem posteriormente serão bloqueadas e perdidas.

Quando se utiliza a técnica FCA (*Fixed Channel Allocation*) o sistema pode ser visto como um grupo independente de células, onde o cálculo da probabilidade de bloqueio segue a fórmula de perda de Erlang B [1]:

$$P_{\text{bloqueio}} = \frac{A^C / C!}{\sum_{i=0}^C A^i / i!} \quad (1)$$

onde A representa o tráfego oferecido por *spotbeam*, sendo este constituído por novas chamadas e chamadas transferidas das células adjacentes (*handovers*).

B. Atribuição Dinâmica de Canais (DCA)

Nesta estratégia não há canais fixos atribuídos a cada célula e todos são potenciais candidatos a servir o potencial tráfego existente numa célula. A escolha do canal a atribuir é feita aleatoriamente de entre os que satisfaçam a distância de reutilização. Quando um canal é atribuído, deixa de estar disponível no grupo dos potenciais candidatos por um período de tempo igual à duração da chamada. Terminada a chamada, o canal regressa ao grupo e fica disponível para ser novamente atribuído.

Um dos aspectos mais importantes da técnica de atribuição DCA é a sua adaptabilidade às variações de tráfego tornando-a uma estratégia de atribuição de canais fundamental para as futuras gerações de redes móveis. De notar, que a técnica DCA nem sempre é melhor que a FCA, de facto, dependendo de factores como a quantidade e distribuição do tráfego e do algoritmo utilizado, a técnica DCA poderá ter um pior desempenho.

C. Atribuição Híbrida de Canais (HCA)

A atribuição híbrida é uma combinação da atribuição dinâmica e da atribuição fixa. Assim, um conjunto do total de canais irá ser atribuído usando FCA, os restantes usarão DCA. O problema que de imediato decorre deste tipo de abordagem, é o de escolher o melhor compromisso entre o número de canais FCA e DCA. Se se optar por um número considerável de canais DCA, a HCA poderá ter bons desempenhos se ocorrerem variações de tráfego, por outro lado, um número considerável de canais FCA permite que a HCA possa ser facilmente implementada.

IV. HANDOVER EM SISTEMAS ICO E LEO

Quando um móvel tem uma chamada em progresso e atravessa a fronteira da célula para uma célula adjacente, um novo canal deve ser atribuído nesta célula para que a chamada não termine. Este acontecimento é conhecido como *handover* e ocorre durante o intervalo de tempo no qual a qualidade da ligação recebida está entre dois níveis de referência.

Em sistemas de comunicações móveis terrestres, o *handover* é provocado pelo movimento do utilizador, no entanto, quando se passa para o caso de comunicações via satélite em órbitas LEO ou ICO, o *handover* é provocado quase exclusivamente pelo movimento dos satélites, pelo que este acontecimento requer uma maior atenção para

este tipo de sistemas, pois a probabilidade de *handover* por chamada é muito elevado.

Em sistemas LEO, os *handovers* ocorrem frequentemente tornando-se necessário o uso de estratégias eficientes. Os *handovers* podem ser tratados como novas chamadas, ou terem prioridade sobre estas. No segundo caso, existe a preocupação de reduzir a probabilidade de queda enquanto aumentamos toleravelmente a probabilidade de bloqueio de novas chamadas.

Nos sistemas ICO esta problemática não se coloca com tanta intensidade uma vez que a velocidade dos satélites é bastante menor.

V. SIMULADOR DE TRÁFEGO

Desenvolveu-se um simulador que permite estimar o tráfego oferecido aos satélites de uma determinada constelação. Como resultado, fornece vários ficheiros que podem conter o valor do tráfego no *footprint* ou nos respectivos *spotbeams*. O cálculo do tráfego é feito com base nos seguintes dados:

- Amostras da posição dos satélites da constelação espaçadas de um determinado instante de tempo.
- Valores de pico do tráfego em determinadas áreas da superfície terrestre (modelo de tráfego posicional).
- Valores representativos da variação do tráfego ao longo do tempo (modelo de tráfego temporal).
- Posição relativa dos *spotbeams* no *footprint* bem como os respectivos tamanhos (modelo dos *spotbeams*).

Depois de concluído foi testado nas constelações ICO e GLOBALSTAR, à frente designadas, respectivamente, por ICO10 e LEO48.

A. Posição dos Satélites da Constelação

Trata-se de ficheiros de texto que são lidos sequencialmente pelo simulador e que contêm as posições dos *subsatellite point* (intersecção entre a recta definida pelos centros da Terra e do satélite com a superfície terrestre) de todos os satélites da constelação, em intervalos de tempo fixos durante um dia. No caso da constelação ICO10 o intervalo é de 120s e no caso da LEO48 é 48s.

B. Modelo de Tráfego Posicional

O mapa de tráfego [2] é constituído por uma grelha de 36x72 quadrículas (figura 5), em que cada uma representa o centro de uma área de 5°x5° em latitude e longitude e foi elaborado levando em conta o número de potenciais utilizadores de uma rede de comunicações via satélite, no ano 2010, sendo estes divididos em três grupos distintos:

- Utilizadores de sistemas celulares - os que residem fora de uma zona com cobertura celular terrestre.
- Utilizadores rurais fixos - os que residem em locais sem linha telefónica e sem rede celular terrestre.
- Trabalhadores viajantes internacionais.

Na implementação da grelha assumiu-se que os utilizadores estão uniformemente distribuídos pelo país e que cada utilizador, no caso de ser móvel, gera 0.01 chamadas por hora e se for fixo 0.04. A duração de cada chamada é de 120 s.

O tráfego gerado por cada utilizador é dado em *Erlang* por $A = \lambda \cdot T$, em que λ representa o ritmo de chegada das chamadas e T a duração das mesmas.

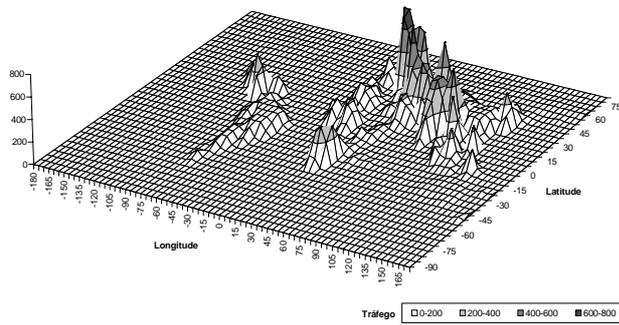


Fig. 5 - Mapa de tráfego posicional

C. Modelo de Tráfego Temporal

Com o fim de se obter uma melhor aproximação à realidade, o tráfego foi calculado considerando a sua variação com a hora local (figura 6). Verifica-se que a curva apresenta máximos a meio da manhã e ao princípio da tarde e que durante a noite o tráfego é praticamente nulo.

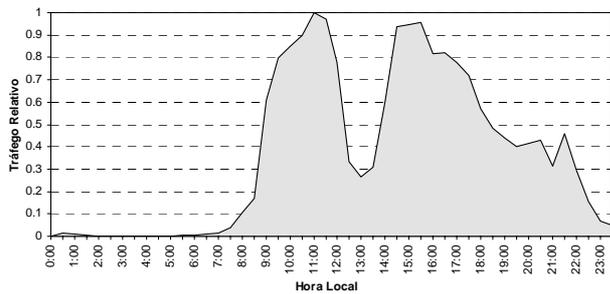


Fig. 6 - Modelo de tráfego temporal

D. Modelo dos spotbeams

Os *spotbeams*, quando projectados na Terra, não são perfeitamente circulares, como normalmente se assume, mas apresentam alguma distorção, principalmente os mais próximos dos limites do *footprint* que se parecem

com elipses, tendo uma área maior que os restantes. O modelo desenvolvido e usado no simulador tem em conta este facto. Assim, os *spotbeams* mais próximos da periferia do *footprint* são maiores (figura.7).

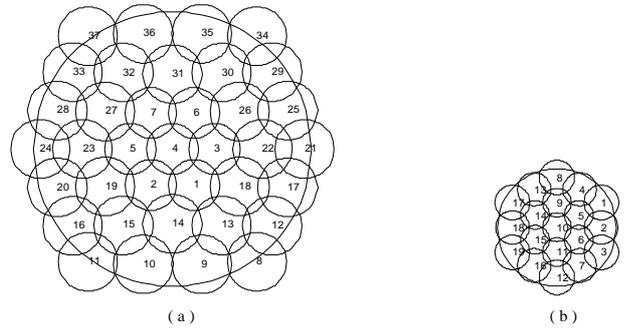


Fig. 7 - Representação dos spotbeams no plano ABCD (a) ICO10 (b) LEO48

Cada *spotbeam* é representado como um círculo num plano frontal ao satélite (plano ABCD da figura 8) e são definidos a partir de dois parâmetros: a posição do centro, representada por dois ângulos (a,b) e o seu tamanho definido na forma de ângulo de elevação mínimo. Estes valores fazem parte de um ficheiro que é lido sequencialmente pelo simulador.

A projecção dos *spotbeams* na superfície terrestre é feita recorrendo à formulação matemática seguinte, podendo ser visualizada na figura 8.

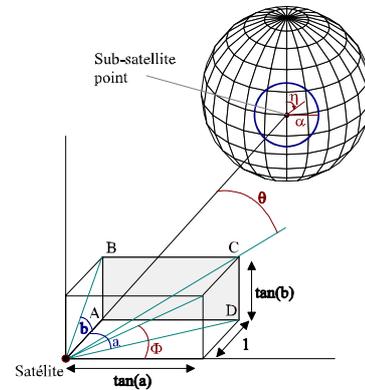


Fig. 8 - Projecção dos spotbeams na Terra

A transposição das coordenadas dos *spotbeams* do plano ABCD para a superfície terrestre envolve os seguintes passos:

1 - (a,b) → (θ,φ)

$$\theta = \text{tg}^{-1} \sqrt{\text{tg}^2(a) + \text{tg}^2(b)} \tag{2}$$

$$\phi = \begin{cases} \phi + \pi & \text{se } \text{tg}(a) < 0 \\ \text{tg}^{-1} \left(\frac{\text{tg}(a)}{\text{tg}(b)} \right) & \text{outros} \end{cases} \tag{3}$$

2 - $(\theta, \phi) \rightarrow (\alpha, \eta)$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \theta - \cos^{-1} \left(\frac{R_e + H}{R_e} \cdot \sin \theta \right) \quad (4)$$

$$\eta = \frac{\pi}{2} - \phi \quad (5)$$

3 - $(\alpha, \eta) \rightarrow (L_{gTerra}, L_{Terra})$

$$L_{gTerra} = \begin{cases} L_{g_{sat}} + \cos^{-1}(aux) & \text{para } \eta > 0 \\ L_{g_{sat}} - \cos^{-1}(aux) & \text{para } \eta < 0 \end{cases} \quad (6)$$

$$aux = \begin{cases} 1 & \text{para } L_{sat} = 0 \text{ ou } L_{Terra} = 0 \\ \frac{\cos(\alpha) - \sin(L_{sat}) \cdot \sin(L_{Terra})}{\cos(L_{sat}) \cdot \cos(L_{Terra})} & \text{outros} \end{cases} \quad (7)$$

$$L_{Terra} = \sin^{-1} \left[\sin(L_{sat}) \cos(\alpha) + \cos(L_{sat}) \sin(\alpha) \cos(\eta) \right] \quad (8)$$

onde R_e é o raio da Terra, H é a altitude do satélite em km, L_{sat} e $L_{g_{sat}}$ são a latitude e longitude do *subsatellite point*, respectivamente, L_{Terra} e $L_{g_{Terra}}$ são a latitude e longitude na Terra do ponto projectado do plano ABCD, respectivamente.

Na figura 9 observa-se o resultado da aplicação do modelo desenvolvido. Verifica-se claramente que os *spotbeams* mais próximos do limite do *footprint* estão distorcidos, como se pretendia.

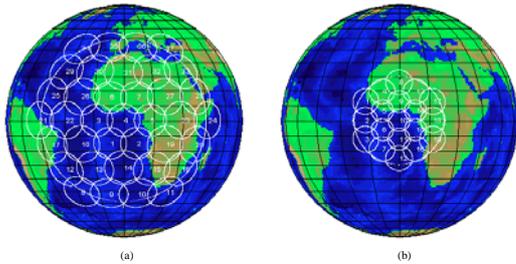


Fig. 9 - *Spotbeams* projectados na Terra
(a) ICO10 (b) LEO48

E. Cálculo do Tráfego no Footprint

Em cada instante da trajectória do satélite soma-se o tráfego de todas as quadrículas incluídas (total ou parcialmente) dentro do *footprint*. Desta formulação surge a necessidade de conhecer qual a área ocupada pelo *footprint* na superfície terrestre. Assim, este é aproximado a uma circunferência centrada no *subsatellite point* e com ângulo ao centro Ψ dado pela expressão (9) em que $AngEl$ é o ângulo de elevação mínimo (ver fig.10).

$$\Psi = \cos^{-1} \left[\frac{R_e}{R_e + H} \cdot \cos(AngEl) \right] - AngEl \quad (9)$$

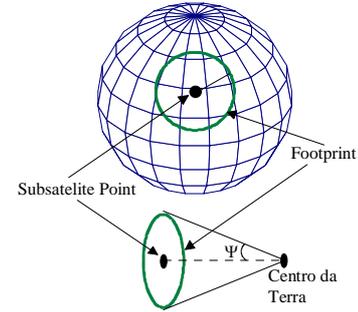


Fig. 10 - Representação do *footprint*

F. Cálculo do Tráfego nos Spotbeams

Em cada instante do movimento do satélite a posição dos *spotbeams* é calculada por forma a projectá-los de um plano frontal ao satélite para a superfície terrestre, sendo depois calculado o tráfego do mesmo modo que para o *footprint*. Verifica-se que a soma dos tráfegos de todos os *spotbeams* difere do valor calculado para o *footprint* directamente. Este facto deve-se à sobreposição entre os *spotbeams*, sendo a soma da área destes maior que a do *footprint*. A relação existente entre estas duas áreas para a ICO10 é 1.34 [4], devendo este facto ser considerado para que os valores de tráfego nas duas situações sejam coerentes.

G. Fusos horários

O simulador contém uma variável que funciona como relógio de referência GMT (*Greenwich Meridian Time*) e a partir desta determina a hora em cada ponto do globo terrestre, de acordo com a convenção adoptada em 1884. Esta convenção define que por cada 15° de longitude a hora local aumenta 60 minutos relativamente à de *Greenwich* [3]. Depois de obtida a hora local das quadrículas inseridas no *spotbeam*, multiplica-se o tráfego de cada uma delas pelo respectivo factor horário. Este factor horário é um valor entre 0 e 1 que é retirado de um modelo que descreve a variação do tráfego local em função da hora local (figura 6). Considera-se assim que este modelo é igual para todas as regiões do globo terrestre.

A inclusão do factor horário no cálculo do tráfego é bastante importante, devido ao facto da hora no *subsatellite point* sofrer fortes variações em consequência das grandes velocidades dos satélites como pode ser observado na figura seguinte, para uma constelação ICO e outra LEO.

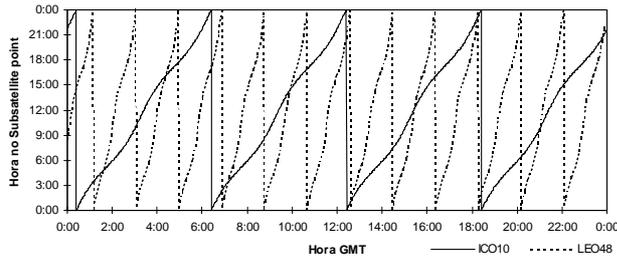


Fig. 11 - Hora no subsatellite point dos satélites

H. Algoritmos

Para uma melhor compreensão do simulador desenvolvido, apresentam-se nas figuras seguintes, os algoritmos, na forma de diagramas de blocos, que mostram como é calculado o tráfego no simulador. Os algoritmos apresentados estão bastante simplificados, portanto não abordam todas as funções usadas no simulador.

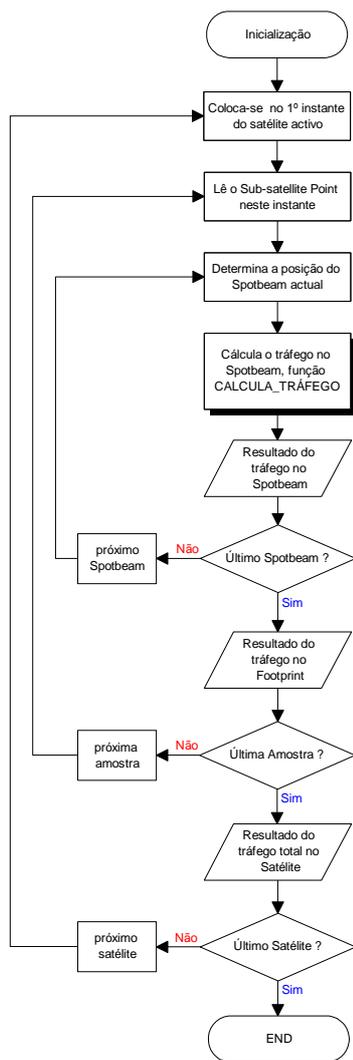


Fig. 12 - Função principal do simulador

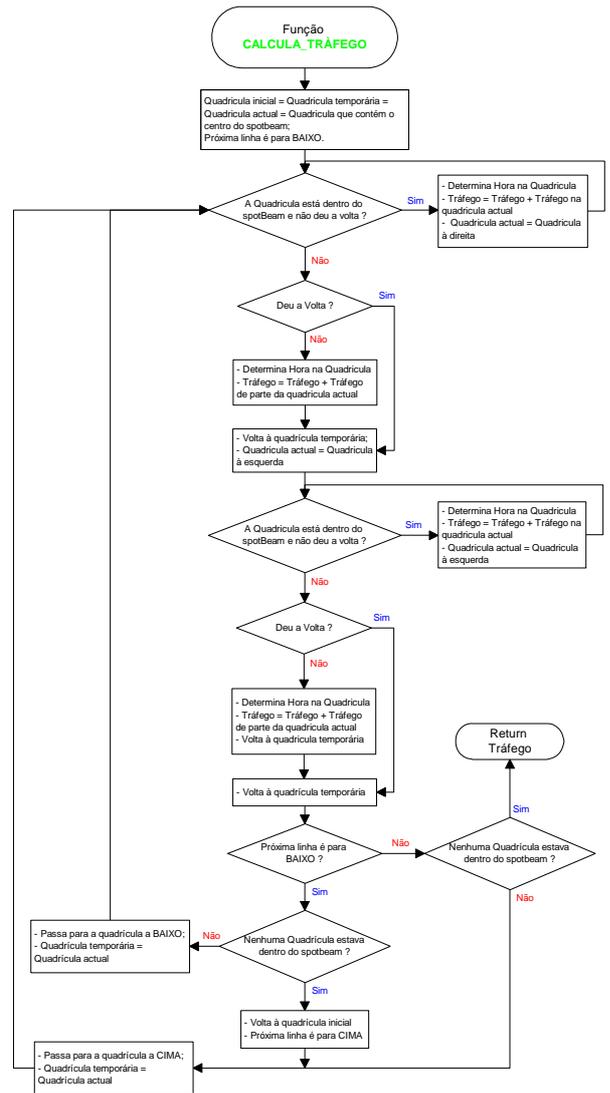


Fig. 13 - Função de cálculo do tráfego no spotbeam

VI. RESULTADOS DO SIMULADOR

A. Tráfego nos satélites da constelação ICO10

O facto mais importante que se retira das simulações efectuadas é, sem dúvida, a forte variação de tráfego que é oferecida aos satélites da constelação. Como exemplo (figura 14), analisa-se o tráfego dos satélites 1 e 2. Definiu-se um parâmetro, designado por TTAM, que traduz o Tempo que o satélite suporta Tráfego Acima da Média. Verifica-se que as curvas de tráfego para satélites da mesma órbita são bastante semelhantes [4].

Tabela 1 - Tráfego da constelação ICO10

	Tráfego Médio (Erl)	Tráfego Máximo (Erl)	TTAM (%)
Satélite 1	3743	19864	34.4
Satélite 2	3954	22615	33.1

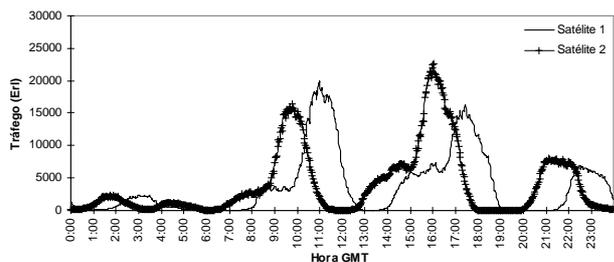


Fig. 14 - Tráfego no footprint

A distribuição do tráfego pelos diferentes *spotbeams* de um satélite apresenta também fortes variações. Analisando o satélite 2, verifica-se que o *spotbeam* 11 suporta um tráfego máximo de 64 Erl em contraste com o *spotbeam* 35 que suporta 3822 Erl de tráfego máximo (figura 15).

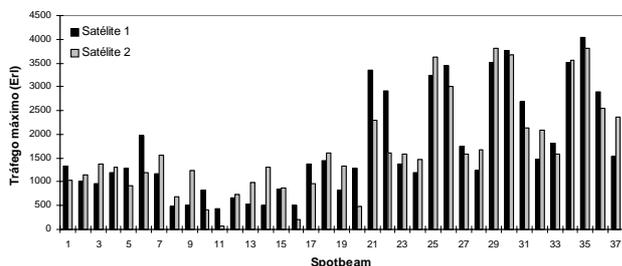


Fig. 15 - Tráfego máximo nos spotbeams

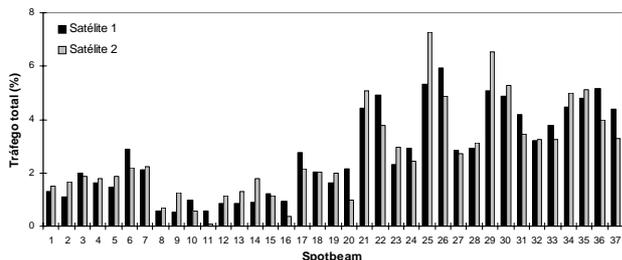


Fig. 16 - Tráfego total nos spotbeams

A distribuição do tráfego total pelos diferentes *spotbeams* é também bastante assimétrica como se pode constatar na figura 16.

Verifica-se também [4], que os *spotbeams* 8 a 16 têm tendência a suportar bastante menos tráfego que os restantes, o que se deve ao facto de se encontrarem sempre no hemisfério sul (hemisfério menos populacional).

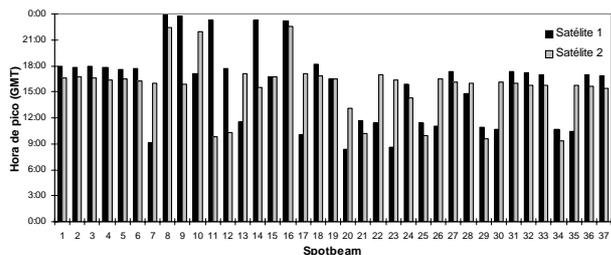


Fig. 17 - Horas de pico nos spotbeams

Da análise das horas de pico nos *spotbeams* (figura 17) observa-se que a hora de tráfego máximo em cada um deles é significativamente diferente, pelo que, com a utilização de uma técnica de atribuição de canais adequada pode-se otimizar mais facilmente o sistema.

B. Tráfego nos satélites da constelação LEO48

As variações de tráfego nesta constelação são ainda mais acentuadas do que as verificadas para a ICO10 (figura 18). Este facto deve-se à menor altitude dos satélites o que tem como consequência directa o aumento da velocidade orbital e a diminuição da área do *footprint*.

Tabela 2 - Tráfego da constelação LEO48

	Tráfego Médio (Erl)	Tráfego Máximo (Erl)	TTAM (%)
Satélite 1	899	11036	23.4
Satélite 2	887	11569	23.4

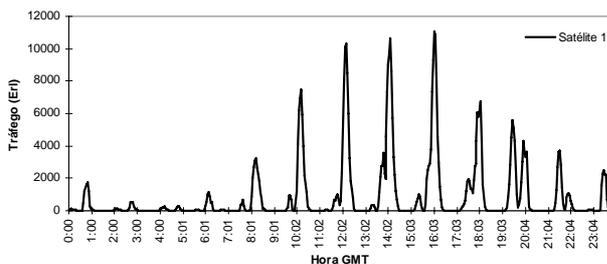


Fig. 18 - Tráfego no footprints

Ao contrário da constelação ICO10, a distribuição do tráfego pelos *spotbeams* da LEO48 é mais uniforme (figura 19), isto porque os *spotbeams* são menores e portanto as zonas abrangidas por cada um deles serem bastante próximas.

A figura 20 permite concluir que os satélites de um mesmo plano orbital suportam sensivelmente o mesmo tráfego médio. É possível ainda distinguir os 8 planos orbitais da constelação LEO48.

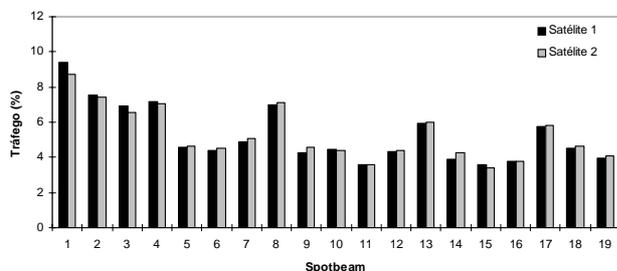


Fig. 19 - Tráfego nos spotbeams dos satélites

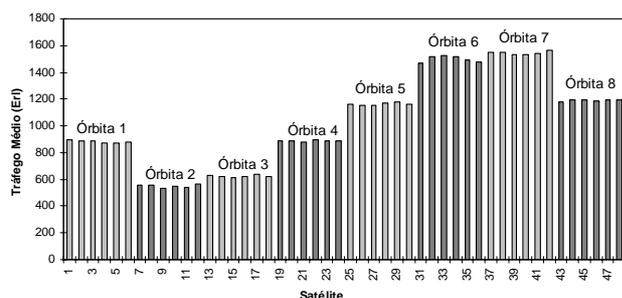


Fig. 20 - Distribuição do tráfego pelas órbitas

VII. CONCLUSÕES

Desenvolveu-se um simulador de tráfego para redes móveis via satélite que foi usado, com sucesso, em duas constelações, uma do tipo ICO e outra do tipo LEO.

Tal como se esperava, verificou-se que o factor altitude dos satélites contribui de forma clara para uma maior quantidade de tráfego no caso da constelação ICO10 e para a acentuação das assimetrias na constelação LEO48.

A semelhança do valor do tráfego para vários satélites do mesmo plano orbital pode contribuir para que estes sejam providos de técnicas mais simples de gestão de recursos, ou seja, utilização de diferentes técnicas para cada uma das órbitas da constelação.

A localização dos *spotbeams* dentro do *footprint* é um dos aspectos a ter em conta para a atribuição de canais de comunicação entre estes, principalmente em constelações que usem órbitas mais altas (ICO), pois há *spotbeams* que passam quase todo o tempo em zonas oceânicas.

Os resultados gerados pelo simulador podem ser utilizados em módulos de simulação de diferentes técnicas de atribuição de canais.

VIII. NOTA FINAL E AGRADECIMENTOS

O presente trabalho inseriu-se no âmbito da disciplina de Projecto da Licenciatura em Engenharia Electrónica e Telecomunicações da Universidade de Aveiro.

Os dois primeiros autores agradecem a disponibilidade sempre demonstrada pelo Eng. Manuel Dinis e a colaboração do Eng. Victor Santos na parte final do Projecto.

REFERÊNCIAS

[1] D.Bear, "Principles of Telecommunication Traffic Engineering", IEEE Series 2, Revised 3rd Edition, 1988.

[2] R. E. Sheriff., F. Costa, et al - "Traffic Model and Characteristics", CEC Deliverable Number R21217 - BRU EEE DR P210-B1, Project SAINT, April 1995.

[3] "Atlas Geográfico Verbo", Editorial Verbo, 1979.

[4] José Ferreira, Pedro Tavares, "Estudo e Simulação de técnicas para efectuar a gestão de recursos existentes a bordo de satélites LEO e ICO", Biblioteca da Universidade de Aveiro, 621.39D.62, Setembro de 1996.