

# VARIAÇÕES TEMPORAIS E ESPACIAIS NA ALOCAÇÃO DE CANAIS EM UM SISTEMA CELULAR

Dave A. T. Cavalcanti<sup>1</sup>, Djamel Sadok, Judith Kelner

Universidade Federal de Pernambuco  
Centro de Informática  
Caixa Postal 7851, CEP 50732-970  
Recife – PE – Brasil

E-mail: {datc, jamel, jk}@cin.ufpe.br

## RESUMO

A evolução dos sistemas de comunicação móvel, juntamente com o surgimento de novas aplicações e serviços avançados, tem exigido uma utilização cada vez mais eficiente do espectro de frequências disponível para as comunicações móveis. Este artigo apresenta uma nova técnica de alocação de canais que utiliza informações a respeito da distribuição espacial e temporal do tráfego no sistema para distribuir os canais de forma a melhorar a Qualidade de Serviço (QoS) nas áreas submetidas a um tráfego mais intenso. Resultados de simulação mostram a eficiência da técnica proposta (AC-VTE) em relação a alocação fixa (AFC) e alocação dinâmica (ADC-FA). As simulações foram realizadas utilizando-se a ferramenta *CELSA*<sup>2</sup> e um modelo de mobilidade multidimensional que define diferentes perfis de usuários, regiões de atração e zonas temporais durante o dia.

**Palavras-chave:** comunicação sem fio, alocação de canal, mobilidade, qualidade de serviço.

## ABSTRACT

The mobile communications systems evolution, with new applications and advanced services, has required a even more efficient use of the scarce frequency spectrum available. This paper presents a new channel allocation scheme that uses information about the space and temporal distributions of traffic over the coverage area for distributing channels in a way to increase the Quality of Service on heavy loaded cells. Simulations results show the efficiency of the proposed scheme (AC-VTE) compared with fixed allocation (AFC) and dynamic allocation (ADC-FA). Simulations were carried out on the tool *CELSA* and a multidimensional mobility model, which defines different users profiles, attraction areas and time zones during the day, was used.

**Keywords:** Channel allocation, Mobility, Quality of Service.

---

<sup>1</sup> Aluno de doutorado do Centro de Informática da UFPE.

<sup>2</sup> Ferramenta que está sendo desenvolvida pelo Centro de Informática da UFPE, juntamente com o CETUC – Centro de Telecomunicações da PUC-RJ, no projeto NOMADIC financiado pelo FINEP/PADCT-III e a empresa SIEMENS do Brasil.

## 1. Introdução

Um dos grandes desafios para que os sistemas de comunicações móveis evoluam com sucesso provendo serviços e aplicações cada vez mais avançados é o limitado espectro de frequências disponível. Este problema limita a taxa de transmissão conseguida por usuário bem como o número total de usuários admitidos no sistema em um determinado momento.

Nos sistemas celulares de comunicações móveis os canais de rádio constituem os recursos disponíveis para estabelecer a conexão dos usuários com a rede. A utilização eficiente dos canais sempre constituiu um fator que limita a capacidade e determina Qualidade de Serviço (QoS) dos sistemas.

Os canais são definidos a partir do espectro de frequência, através das técnicas de acesso ao meio [9], os quais são gerenciados de forma a atender a demanda dos usuários utilizando-se o princípio da reutilização de frequências. Neste artigo, o conceito de canal empregado é independente se o método de acesso ao meio é FDMA, TDMA ou CDMA.

Entretanto, a maior restrição imposta pelo ambiente sem fio a esse processo de reutilização é a interferência co-canal que é a degradação da relação sinal/interferência do sinal transmitido por uma unidade móvel devido a utilização do mesmo canal em uma distância menor que um limite mínimo, chamada distância mínima de reuso [4].

Várias técnicas de alocação de canais podem ser encontradas na literatura [6], todas com o objetivo de conseguir um gerenciamento eficiente na distribuição dos recursos. Basicamente as técnicas de alocação são caracterizadas por dois extremos: Alocação Fixa de Canais (AFC) e Alocação Dinâmica de Canais (ADC).

Nas estratégias AFC os canais são distribuídos entre as células de forma que cada uma possui seu exclusivo grupo de canais. Nas técnicas ADC todos os canais podem ser usados por qualquer célula, desde que seja mantida a distância mínima de reuso [2, 10]. Outras técnicas combinam alocação fixa e dinâmica e são classificadas como Alocação Híbrida de Canais (AHC).

Os algoritmos ADC podem ainda ser classificados como centralizados ou distribuídos. Nos centralizados [6], um *pool* de canais é mantido por um controlador central o qual possui informações sobre todos os canais do sistema e faz a alocação temporária do canal. Nos esquemas distribuídos [3, 6] a decisão de qual canal alocar é tomada por cada uma das ERBs (Estações Rádio Base) utilizando informações locais sobre os canais disponíveis nas células vizinhas.

A maioria dos padrões atuais em funcionamento, desenvolvidos para sistemas digitais TDMA e FDMA utilizam técnicas AFC. Apesar da distribuição de canais entre as células poder ser alterada, este processo de rearranjo não é feito em tempo real [7]. Isto significa que este tipo de alocação depende fortemente de um processo de planejamento de frequências e não é capaz de se adaptar dinamicamente às variações de tráfego.

Devido a deficiência das técnicas AFC alguns sistemas já empregam técnicas ADC, como o caso dos sistemas DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunication System), PHS (Personal Handyphone system – Japão) e GSM (Groupe Spécial Mobile). Nas propostas de evolução dos padrões atuais para os sistemas de terceira geração também está sendo considerado o suporte às técnicas ADC.

Apesar dos benefícios das técnicas ADC no que se refere a utilização eficiente e a adaptabilidade às variações do tráfego, estudos mostram que em algumas situações as técnicas AFC apresentam um melhor desempenho [6]. Em situações de alto tráfego, já foi comprovada a superioridade da alocação fixa [10]. Outros problemas da alocação dinâmica são a complexidade do algoritmo, a confiabilidade de um controle centralizado e a arquitetura de comunicação entre as ERBs que deve suportar uma elevada carga de sinalização no caso dos algoritmos distribuídos.

Uma situação ideal para aumentar a eficiência do sistema é um conhecimento prévio das futuras cargas de tráfego bem como a sua distribuição sobre a área de cobertura. A técnica de alocação proposta neste artigo pressupõe a disponibilidade de informações a respeito da mobilidade dos usuários para realizar uma alocação que se adapte tanto a variações espaciais, como temporais no tráfego.

O restante deste artigo está dividido da seguinte forma. Na seção 2 descreve-se o modelo de mobilidade de usuários utilizado nas simulações. Na seção 3, apresenta-se uma nova proposta de alocação fixa com variações temporais e espaciais na distribuição dos canais, juntamente com as demais técnicas a serem avaliadas. O ambiente de simulação, os parâmetros que definem o sistema e os resultados são apresentados na seção 4. O trabalho é concluído na seção 5.

## 2. O Modelo de Mobilidade

Tentando simular o comportamento dos usuários de forma mais realista, será utilizado um modelo, inicialmente proposto em [1] que procura classificar a mobilidade em diferentes perfis a fim de cobrir os mais variados tipos de comportamentos dos usuários. O ambiente a ser modelado é dividido em 03 (três) dimensões, como mostrado na Fig. 1:

- **Dimensão pessoal:** descreve classes de usuários com diferentes comportamentos em relação à mobilidade;
- **Dimensão temporal:** descreve o perfil dos diferentes períodos temporais de acordo com as características de mobilidade de cada período;
- **Dimensão espacial:** descreve o perfil de cada tipo de região em relação à “atração” exercida sobre os usuários.

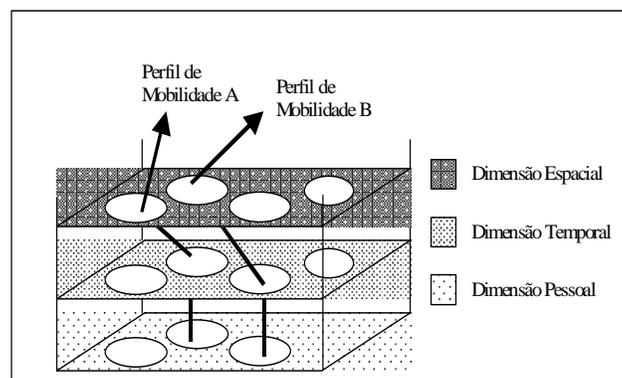


Fig. 1 Modelo de Mobilidade Multidimensional baseado em Perfis

Para cada combinação entre as dimensões pessoal, temporal e espacial é associado um *perfil de mobilidade*, por exemplo: um determinado tipo de usuário (dimensão pessoal), em uma determinada hora do dia (dimensão temporal), em uma região específica (dimensão espacial) possui um certo perfil de mobilidade.

### Dimensão Pessoal

Nesta dimensão o modelo divide os usuários em grupos que apresentam um comportamento semelhante em relação às possíveis regiões de movimentação ao longo do dia. Os seguintes grupos são considerados:

- Usuário Trabalhador Comum - um indivíduo que acorda de manhã, vai para o trabalho onde passa a maior parte do dia e retorna para casa a noite recomeçando o ciclo novamente no dia seguinte, podendo realizar pequenas movimentações entre a hora do início e fim do trabalho, como na hora do almoço;
- Usuário de Alta Mobilidade - passa a maior parte do dia se movimentando de um lugar para outro. Essa característica é típica de certas profissões, como por exemplo, representantes de vendas, corretores de seguros, fiscais, motoristas, etc;
- Usuário Residencial – indivíduo que não trabalha, passa a maior parte do tempo em casa, realizando movimentações esporádicas durante o dia, podendo permanecer desde alguns minutos até várias horas no local visitado, como em bancos, lojas, shopping center, supermercados ou praias, por exemplo.

### Dimensão Temporal

A mobilidade é altamente influenciada pela hora do dia. Durante as primeiras horas da manhã, por exemplo, há um maior fluxo de usuários das suas residências para os locais de trabalho. Já no final da tarde e início da noite, o fluxo de usuários é grande no sentido contrário, do trabalho para a residência ou para áreas de lazer. Assim, a dimensão temporal é caracterizada por zonas temporais, nas quais os usuários possuem um certo comportamento. A Tabela 1 mostra as zonas temporais de uma região metropolitana brasileira típica.

Zonas Temporais	Horário	Descrição
Zona 1	06:00 às 08:00	<i>Hora do rush</i> (manhã)
Zona 2	08:00 às 12:00	Horário comercial de trabalho
Zona 3	12:00 às 14:00	Horário de almoço
Zona 4	14:00 às 18:00	Horário comercial de trabalho
Zona 5	18:00 às 20:00	<i>Hora do rush</i> (noturna)
Zona 6	20:00 às 24:00	Horário de descanso ou lazer

Tabela 1. Zonas Temporais

## Dimensão Espacial

Cada célula é classificada de acordo com as características da região onde ela se localiza. Cada tipo de célula exerce um certo “poder de atração” sobre os usuários durante um determinado intervalo de tempo. Uma célula localizada numa região residencial, por exemplo, vai atrair mais usuários nas primeiras horas da manhã (Zona 1) ou à noite (Zonas 5 e 6). Já uma célula localizada no centro comercial da cidade vai atrair um grande número de usuários no horário do expediente (Zonas 2 e 4). De acordo com o perfil da região podemos classificar as células quanto a atração exercida sobre os usuários como: Residencial (R), Trabalho(T), Banco (B), Shopping (S) e Lazer (L).

## Definição dos perfis de mobilidade

Na implementação do modelo realizada neste trabalho, cada perfil de mobilidade é definido utilizando-se informações das três dimensões e pode ser especificado através de três parâmetros: o tempo de permanência do usuário numa célula ( $T_{res}$  - *cell residence time*), um algoritmo que possa prever a célula para qual o indivíduo deseja se movimentar e o tempo de permanência do usuário na célula de destino ( $T_d$ ).

O tempo de permanência numa célula está relacionado com a velocidade do usuário móvel e o tamanho das células, este é o tempo que o usuário leva para cruzar a célula. Neste trabalho, considera-se que o tempo de permanência numa célula ( $T_{res}$ ) é exponencialmente distribuído.

A decisão da célula de destino do usuário é outro ponto muito importante na definição do perfil de mobilidade, pois está diretamente relacionado com a geração de procedimentos de *handoffs*, cuja probabilidade de falha ( $P_{fn}$ ) é um parâmetro determinante da QoS do sistema. Na maioria dos trabalhos, o conceito de célula de destino corresponde à próxima célula para qual o usuário se movimentará, conseqüentemente só poderá ser uma das células vizinhas à célula atual do usuário [4, 8, 7].

Neste trabalho, a célula de destino não corresponde necessariamente à próxima célula, mas a qualquer célula dentro da área de cobertura para qual o usuário possa querer se deslocar. Um usuário do tipo trabalhador comum, por exemplo, no horário entre 8:00 e 12:00 horas da manhã, com grande probabilidade, sairá da sua residência (célula atual) e se deslocará para sua área de trabalho (célula de destino) que pode estar localizada a uma longa distância da sua residência.

O algoritmo que decide a célula destino do usuário utiliza informações das três dimensões (pessoal, temporal, espacial) para tomar uma decisão e é baseado em uma matriz de probabilidades dos pontos de atração para cada tipo de usuário definido na dimensão pessoal. Esta matriz associa a cada tipo de célula da dimensão espacial uma probabilidade de atração de acordo com a zona temporal. Por exemplo, um usuário trabalhador comum na Zona Temporal 2 tem uma maior probabilidade de se movimentar para uma área de trabalho. Para cada tipo de usuário é definida uma matriz de probabilidades dos pontos de atração. As Tabelas 2(a) e 2(b) representam exemplos de matrizes para os usuários classificados no tipo residencial ou no tipo trabalhador respectivamente.

Os valores das probabilidades são parâmetros de entrada para a simulação e podem ser alterados de acordo com as características da região e dos usuários que estão sendo modelados.

Para o usuário de alta mobilidade, não é definida a matriz de probabilidades, pois se pretende modelar nesse caso, um comportamento realmente aleatório como a movimentação de um

motorista de taxi, por exemplo. Assim, considera-se que a probabilidade dele se deslocar para qualquer célula dentro da topologia é a mesma. O algoritmo escolhe aleatoriamente uma célula qualquer dentro da topologia como o destino do móvel no início de cada movimentação.

Zona	R(%)	T(%)	B(%)	S(%)	L(%)	Zona	R(%)	T(%)	B(%)	S(%)	L(%)
1	100	0	0	0	0	1	100	0	0	0	0
2	20	10	20	40	10	2	10	80	10	0	0
3	40	10	40	10	0	3	40	10	30	20	0
4	30	10	10	20	30	4	10	70	10	10	0
5	50	0	0	30	20	5	40	20	10	20	10
6	60	0	0	10	30	6	60	0	0	20	20

Tabela 2(a) Probabilidades dos pontos de atração para o usuário Residencial

Tabela 2 (b) Probabilidades dos pontos de atração para o usuário Trabalhador

Depois de definido o destino, o próximo passo é definir a rota que o usuário vai seguir para chegar ao destino, ou seja, as próximas células pelas quais ele vai passar na sua jornada. A partir da topologia simulada são definidas várias rotas através das quais o usuário pode chegar a um mesmo destino. O simulador utilizado possui uma tabela com todas as rotas possíveis. Estas rotas são parâmetros de entrada do simulador e podem ser escolhidas livremente na definição do exemplo. Definida a célula de destino do usuário, o simulador procura a primeira rota que o leve ao destino escolhido.

Durante a movimentação em direção ao destino, o usuário permanece em cada célula da rota escolhida um tempo determinado pela função de densidade de probabilidade de  $T_{res}$ .

O último parâmetro que caracteriza o perfil de mobilidade é o tempo de permanência na célula destino ( $T_d$ ), que é diferente do tempo de residência  $T_{res}$ . Quando uma pessoa chega ao seu destino, ela geralmente deseja realizar uma atividade qualquer, o que levará um tempo maior do que simplesmente atravessar as células. Este comportamento é simulado utilizando o tempo  $T_d$  como uma variável aleatória diferente de  $T_{res}$  com uma função densidade de probabilidade uniforme. Finalizado esse tempo, o usuário inicia um novo processo de movimentação com a escolha de um novo destino.

### 3. Alocação de Canais com Variações Temporais e Espaciais

Para a proposta que será apresentada na próxima seção considera-se um sistema onde todas as células são classificadas segundo um dos tipos definidos pela dimensão espacial do modelo de mobilidade: Residencial (R), Trabalho (T), Banco (B), Shopping (S) e Lazer (L). Todas as células estão agrupadas em áreas de localização com 7 células por área.

Consideram-se também, as várias zonas temporais definidas na seção 4.2 dentro das quais os usuários têm diferentes características de deslocamento.

O número de canais disponíveis no sistema é representado por  $M$ . Assume-se que os  $M$  canais podem ser utilizados nas diferentes áreas de localização, sem causar interferência. No caso de uma alocação fixa, os  $M$  canais poderiam ser distribuídos para as sete células de cada área de

localização o que representaria um fator de reuso igual a sete. Dessa forma, cada célula possuiria o seu conjunto exclusivo de canais. Diferentemente da alocação fixa, na proposta apresentada nesse trabalho, é adotada uma simplificação que permite que todos os  $M$  canais possam ser utilizados em quaisquer das sete células, sem causar interferência nas demais células pertencentes às áreas de localização vizinhas. Entretanto, permanece a limitação de que dentro da área de localização, o canal só pode ser utilizado uma vez.

Essa proposta de alocação realiza uma distribuição não uniforme dos canais entre as células, de forma que o número de canais disponíveis em cada célula do sistema depende do tipo da célula (Residencial, Trabalho, Banco, Shopping ou Lazer) e do horário. Assim, o número de canais por célula varia com o tempo com o objetivo de direcionar um maior número de canais para as células que exercem uma maior “atração” sobre os usuários em determinados horários durante o dia. Uma situação típica que demonstra a aplicabilidade dessa técnica é a atribuição de um percentual maior dos canais disponíveis para as células de trabalho durante o horário comercial (zona temporal 2 de 8:00 às 12:00 horas) do que para as células residenciais.

Para realizar essa distribuição variável dos canais é definida uma matriz de alocação para cada área de localização, ver Tabela 3(a). Nas colunas da matriz estão os tipos de células definidos na dimensão espacial do modelo de mobilidade. Nas linhas estão distribuídas as diferentes zonas temporais. Considerando-se  $M$  o número total de canais disponível para a área de localização, cada elemento  $A_{ij}$  da matriz representa o percentual de canais em relação a  $M$  que estará disponível para as células do tipo  $j$  (onde  $j = R, T, B, S$  ou  $L$ ) durante a zona temporal  $i$  (onde  $i = 1, 2, 3, \dots, 6$ ).

Zona	R(%)	T(%)	B(%)	S(%)	L(%)	Horário	Tipo de Célula
1	$A_{1R}$	$A_{1T}$	$A_{1B}$	$A_{1S}$	$A_{1L}$	Zona 1 (6:00 às 8:00)	Residencial
2	$A_{2R}$	$A_{2T}$	$A_{2B}$	$A_{2S}$	$A_{2L}$	Zona 2 (8:00 às 12:00)	Trabalho
3	$A_{3R}$	$A_{3T}$	$A_{3B}$	$A_{3S}$	$A_{3L}$	Zona 3 (12:00 às 14:00)	Banco
4	$A_{4R}$	$A_{4T}$	$A_{4B}$	$A_{4S}$	$A_{4L}$	Zona 4 (14:00 às 18:00)	Trabalho
5	$A_{5R}$	$A_{5T}$	$A_{5B}$	$A_{5S}$	$A_{5L}$	Zona 5 (18:00 às 20:00)	Shopping
6	$A_{6R}$	$A_{6T}$	$A_{6B}$	$A_{6S}$	$A_{6L}$	Zona 6 (20:00 às 24:00)	Lazer

Tabela 3 (a) Matriz de alocação

Tabela 3 (b) Prioridades na distribuição de canais

Para uma determinada área de localização, o número de canais atribuídos para cada célula do tipo  $j$  dentro de uma zona temporal  $i$ , é representado por  $C_{ij}$  e pode ser calculado da seguinte forma:

$$C_{ij} = \left\lfloor A_{ij} \cdot \frac{M}{N_j} \right\rfloor \quad (1)$$

Onde  $N_j$  é o número de células do tipo  $j$  dentro da área de localização. A equação (2) representa a condição para que todos os canais sejam utilizados.

$$M - \sum_j N_j C_{ij} = 0, j = R, T, B, S, L \quad (2)$$

Caso a condição acima não seja satisfeita, o resultado da subtração representará o número de canais que não foram alocados. Esses canais representam um número bem inferior a  $M$  e passarão por outro processo de distribuição. Desta vez, a definição das células para as quais serão designados os canais restantes seguirá uma política de prioridade dependendo da zona temporal. Por exemplo, durante a zona temporal 1, esses canais serão distribuídos igualmente entre as células do tipo residencial. Com essa nova distribuição, pretende-se melhorar o serviço nas regiões mais críticas, ou seja, com maior carga de tráfego durante as diferentes zonas temporais. A Tabela 3(b) indica o tipo de célula que tem prioridade sobre os canais na redistribuição.

Neste momento é realizado um novo teste da condição (2). Caso ainda restem canais, estes canais serão designados para a célula do tipo  $j$ , tal que  $N_j = 1$  seguindo a seguinte ordem de prioridade: R, T, B, S e L.

No momento de transição entre zonas temporais, as ligações em andamento não são afetadas pelo processo de atualização do número de canais disponíveis em cada célula. No caso em que o percentual de canais para um determinado tipo de célula diminui, no qual o novo limite de canais será menor que o número de canais em uso, novas chamadas serão bloqueadas até que os canais sejam liberados e o número de canais em utilização atinja um valor inferior ao novo limite disponível. Nos casos em que a disponibilidade de canais aumentar, os novos limites só passará a vigorar quando os números de ligações em andamento em todas as células que sofreram uma redução de canais atingirem valor igual ao novo número de canais disponíveis. Essa condição garante que não serão aceitas mais do que  $M$  ligações simultâneas dentro da mesma área de localização.

Neste artigo, a proposta AC-VTE será comparada com seguintes algoritmos:

- AFC – Para cada célula é atribuído um conjunto com  $S = M/N$  canais, onde  $M$  é o número total de canais e  $N$  é fator de reuso. O fator de reuso se relaciona com a distância de reuso ( $D$ ) através da equação (3), onde  $R$  é o raio das células. Nas simulações utilizou-se  $N=7$ .

$$N = \frac{1}{3} \cdot \left( \frac{D}{R} \right)^2 \quad (3)$$

- ADC-FA (*First Available*) – os  $M$  canais são compartilhados entre as células, e para cada pedido de alocação o primeiro canal disponível é selecionado. Considera-se que um canal encontra-se disponível para ser alocado em uma determinada célula, se ele não estiver sendo utilizado por outro usuário na célula ou em alguma das células interferentes. As células interferentes são definidas a partir da distância mínima de reuso ( $D$ ) e para  $N=7$ , tem-se  $D = R(21)^{1/2}$ , logo, as células interferentes de uma determinada célula correspondem às adjacentes e às vizinhas às adjacentes.

#### 4. Análise de Desempenho

Nesta seção é apresentado o ambiente de simulação com todos os seus parâmetros, juntamente com os resultados de várias simulações realizadas e que possibilitam a avaliação da proposta de alocação AC-VTE em relação a alocação fixa (AFC) e dinâmica (ADC-FA).

#### 4.1 O Ambiente de Simulação

O ambiente de simulação utilizado foi a ferramenta *CELSA* (*Cellular Signaling Analyser*) desenvolvida inicialmente para análise da carga de sinalização em redes de comunicação móvel celular. Esta ferramenta permite a simulação de uma topologia qualquer para a rede definida pelo usuário de acordo com a região que este deseja simular, incluindo todos os componentes de uma rede real (Unidade Móvel – UM, Estação Rádio Base – ERB, Central de Comutação e Controle - CCC ou *Mobile Switching Center* - MSC, *Virtual Location Register*-VLR e *Home Location Register*-HLR). Com a implementação de um modelo de mobilidade para os usuários e dos principais procedimentos de uma rede real, a ferramenta permite a obtenção de estimativas do efeito da carga de sinalização sobre uma rede simulada, através da análise da quantidade de *bytes* trocada, entre os componentes da rede, durante a efetivação dos procedimentos [5]

Os principais procedimentos de uma rede celular, baseada no padrão IS-136, foram implementados na ferramenta, são eles: *Power on*, *Call Origination* (geração de chamada), *Handoff*, *Location Up Date* (atualização de localização) e *Power off*.



Fig. 2 Interface e edição das propriedades de uma ERB

Neste trabalho será mostrada a utilidade da ferramenta *CELSA* como uma plataforma para a simulação e avaliação do desempenho de técnicas de alocação de canal, gerando resultados sobre a QoS em uma rede celular.

A interface gráfica da ferramenta está indicada na Fig.2. Através dessa interface pode-se construir a simulação definindo a topologia da rede, posicionando os componentes da rede e definindo as propriedades de cada componente. O mapa referente à topologia que se deseja simular também é um parâmetro de configuração do sistema e ajuda no processo de distribuição espacial dos componentes da rede, possibilitando assim a simulação de uma rede semelhante à utilizada em uma cidade qualquer.

A Fig.2 também mostra as informações referentes a uma RBS, como: identificação da RBS, identificador do MSC ao qual está conectada, área de localização (neste caso, a RBS pertence à área de localização 1 que é a única para esta topologia), interface aérea (IS-136), altura da antena, tipo da antena (*omni* ou *setorizada*), potência, raio de cobertura, Zona de Atração coberta por esta RBS (área residencial, comercial, etc.), número total de canais e números de

canais dedicados para *handoff* (no caso de uma técnica AFC com canais de guarda para *handoff*).

Através da interface gráfica da *CELSA* também podem ser especificadas várias informações sobre os perfis dos usuários pertencentes à população simulada: número total de usuários, percentual de cada tipo de usuário com relação à população total, as tabelas de probabilidades dos pontos de atração, entre outros. A seguir serão citados os parâmetros do sistema:

- A topologia simulada está indicada na Fig.3(a), na qual tem-se vinte e oito células distribuídas em quatro áreas de localização e classificadas de acordo com os tipos definidos na dimensão espacial do modelo de mobilidade;
- As conexões entre as células que definem as possíveis rotas dos usuários durante o processo de movimentação também estão indicadas na Fig.3(a);
- O número total de usuários no sistema é representado por  $N_{users}$  e seu valor é escolhido grande o bastante para que a probabilidade de realização de uma nova chamada não dependa da chamada anterior, nas simulações realizadas tem-se  $N_{users} = 5000$ ;
- Classes de usuários e percentual de cada classe em relação a população total: Residencial (15 %), Trabalhador – (65 %) e Alta Mobilidade (25 %)
- As zonas temporais são as descritas na Tabela 1;
- As tabelas de probabilidade para os usuários residencial e trabalhador são as apresentadas na seção 2 (Tabelas 2(a) e 2(b) );
- O tempo de permanência do usuário na célula ( $T_{res}$ ) é exponencialmente distribuído com média de  $\mu$  minutos;
- O tempo de permanência na célula destino ( $T_d$ ) é uniformemente distribuído no intervalo  $[t_0, t_f]$  minutos;
- A chegada de novas chamadas no sistema é modelada como um processo de Poisson com média de  $\lambda$  chamadas por segundo;
- O tempo de duração de uma chamada é exponencialmente distribuído com média de  $t_{cha}$  minutos;

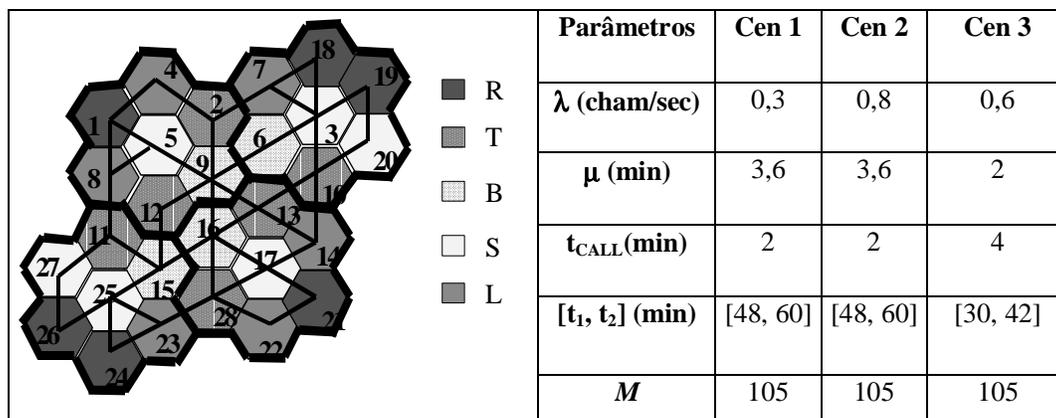


Fig. 3 (a) Topologia simulada

Fig. 3(b) Parâmetros para os cenários 1, 2 e 3.

Foram montados três cenários de simulação com parâmetros diferentes. O primeiro cenário tem o objetivo de analisar a distribuição do tráfego sobre a topologia e definir os valores da matriz de alocação. Os cenários 2 e 3 analisam o comportamento dos diferentes algoritmos de alocação em relação à taxa bloqueio de novas chamadas e a taxa de falha nos *handoffs*, respectivamente. Os parâmetros que diferenciam os cenários estão na Fig. 3(b).

### 4.3 Cenário 1

Para analisar a distribuição temporal e espacial do tráfego, contabilizou-se todos os procedimentos de geração de chamadas realizados durante o tempo de simulação, assim como a célula em que cada procedimento foi gerado. Foram realizados experimentos envolvendo todas as zonas temporais, ou seja, das 8:00 da manhã até às 24 horas. O processo de geração de chamadas é independente do algoritmo de alocação de canal utilizado, permitindo que todos os algoritmos sejam avaliados utilizando-se as mesmas condições. Neste cenário foi utilizado o algoritmo AFC.

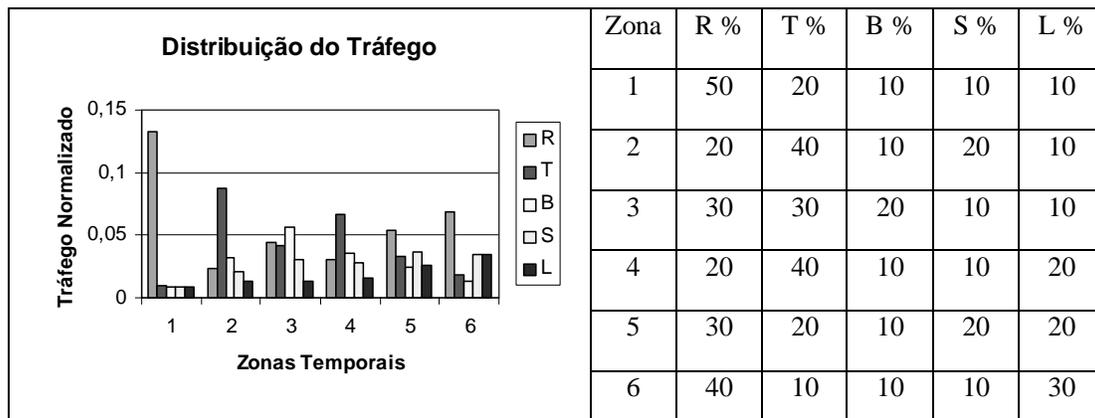


Fig. 4(a) Distribuição do tráfego por célula

Fig.4(b) Matriz de Alocação

Na Fig. 4(a) encontra-se o tráfego normalizado médio gerado por célula, para todos os tipos definidos (R, T, B, S e L), durante cada uma das zonas temporais existentes. Através dessa distribuição podem-se observar as características do modelo de mobilidade implementado. Na zona temporal 1 (6 às 8 horas da manhã), por exemplo, a alta concentração de tráfego nas células residenciais demonstra o fato de que, nesse horário, os usuários residenciais e trabalhadores têm probabilidade 100% de se deslocarem para áreas residenciais. Além disso, esses usuários iniciam a simulação em células residenciais.

Durante a zona temporal 2 pode-se verificar a maior intensidade do tráfego nas células de trabalho, o que era esperado devido ao maior percentual de usuários do tipo trabalhador e aos valores da matriz de probabilidades dos pontos de atração para esse tipo de usuário. Já na zona temporal 3, existe um certo equilíbrio na distribuição do tráfego, o que representa a tendência dos usuário de deslocarem-se para suas residências, para uma área comercial (células do tipo Banco) ou permanecerem no ambiente de trabalho. Nesse horário, pode-se observar também um pequeno aumento do número de novas chamadas nas áreas de Shopping, o que também era esperado de acordo com o modelo.

Analisando-se as demais zonas temporais verificam-se as características definidas no modelo de mobilidade. Na zona temporal 4 ocorre novamente uma maior concentração de tráfego nas regiões de trabalho. Nas zonas 5 e 6, verifica-se um aumento no número de chamadas nas áreas residenciais, áreas de lazer e de shopping. No entanto, nas áreas de trabalho e de banco ocorre uma diminuição do tráfego.

Observando-se o comportamento dos usuários em relação à geração de novas chamadas, podem-se escolher os valores da matriz de alocação do algoritmo AC-VTE, de forma a beneficiar as células que são atingidas por um tráfego mais intenso em diferentes horários durante o dia. Nas demais simulações, foi utilizada a mesma matriz de alocação para todas as áreas de localização, a qual pode ser vista na Fig. 4 (b).

#### 4.4. Cenário 2

Na Fig.5(a) é mostrada a taxa média de bloqueio por célula para cada tipo de célula definido, para um teste realizado entre 9:30 e 10:30 da manhã, possibilitando uma comparação entre os algoritmos AFC, AC-VTE e ADC-FA.

Os resultados mostram a eficiência da proposta AC-VTE nas regiões de maior tráfego (células do tipo T e B), apresentando uma taxa de bloqueio de muito inferior às outras técnicas. Nas células de trabalho constatou-se um bloqueio de 0,105% dos pedidos de novas chamadas, enquanto nas células de banco o bloqueio foi muito inferior em relação aos demais resultados. Nas outras regiões, a técnica AC-VTE apresentou mais bloqueios, no entanto a diferença não foi tão grande em favor das outras técnicas utilizadas. Essa diferença teve seu valor máximo de 0,755% em relação ao algoritmo ADC-FA nas células do tipo shopping. A diferença máxima em favor da alocação AFC foi de 1,205 %, também nas células do tipo shopping. Apesar do desempenho inferior em determinadas regiões, os bloqueios mantiveram-se sempre inferior aos 2% com a proposta AC-VTE, enquanto com as demais alternativas os piores desempenhos foram superior aos 3,9% com a AFC e superior aos 4% com a ADC-FA.

Na Fig.5(b) é apresentada uma comparação entre os três algoritmos para uma simulação realizada entre 21:30 e 22:30, horário este que está inserido na Zona Temporal 6.

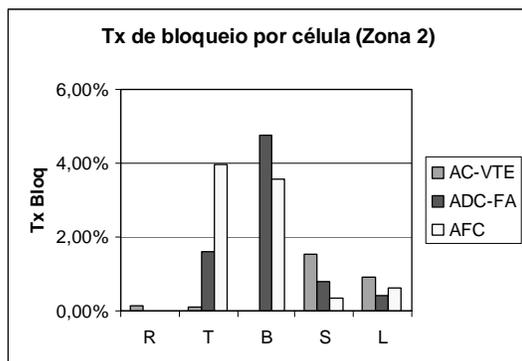


Fig. 5(a) Simulação na zona 2 (9:30 às 10:30)

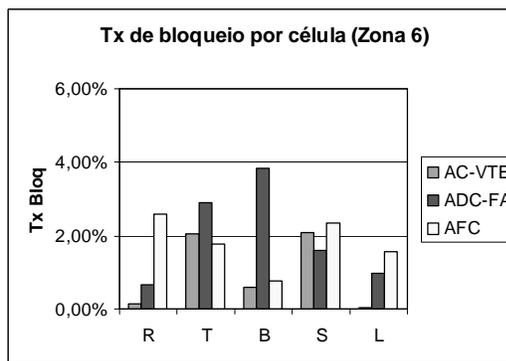


Fig. 5(b) Simulação na zona 6 (21:30 às 22:30)

A zona 6 corresponde a um horário em que o tráfego se concentra nas áreas residenciais, de lazer e de shopping. As células do tipo residencial e de lazer apresentaram as menores taxas de bloqueio com o algoritmo AC-VTE, com os valores de 0,124% e 0,051% respectivamente.

As maiores taxas, para essas células, foram conseguidas com a alocação AFC. A técnica ADC-FA teve um desempenho intermediário nas células residenciais e de lazer, mas em compensação, apresentaram um nível de bloqueio muito elevado nas células de trabalho e banco, chegando a 2,889% e 3,846% respectivamente. Apenas nas células do tipo shopping a alocação dinâmica superou as outras técnicas. Novamente pode-se observar o bom desempenho da variação temporal e espacial dos canais que beneficia as células que estão sob uma maior carga de tráfego e ainda consegue um resultado satisfatório em comparação com os outros algoritmos nas áreas de menor tráfego.

O baixo desempenho da alocação dinâmica nas células do tipo banco, tanto na zona 2 como na zona 6, é explicado pelo fato dessas células estarem localizadas no centro da topologia, tendo assim, um maior número de células interferentes que as células de borda. Este resultado está de acordo com a afirmação, feita em [4], de que as células de borda têm uma menor probabilidade de bloqueio que as células centrais, para as mesmas condições de tráfego, utilizando-se alocação dinâmica.

#### 4.5 Cenário 3

Neste terceiro cenário, o principal objetivo é verificar o comportamento dos algoritmos de alocação simulados em relação à taxa de falhas de *handoff*, a qual constitui um parâmetro importante e que revela o nível de QoS oferecido pelo sistema.

Como foi descrito anteriormente, o processo de geração de novas chamadas, corresponde a um processo de Poisson com média  $\lambda$ . Já o processo de geração de *handoffs* está intimamente relacionado com o modelo de mobilidade. Um usuário realiza um *handoff* quando, finalizado o tempo de permanência em uma dada célula, este ainda estiver com uma ligação em andamento. Desta forma, verifica-se a dependência que o processo de geração de *handoffs* tem com os parâmetros relacionados na Fig.3(b). Quanto menor for o tempo de permanência numa célula e maior for o tempo de duração da chamada maior é a probabilidade de ocorrer um *handoff*.

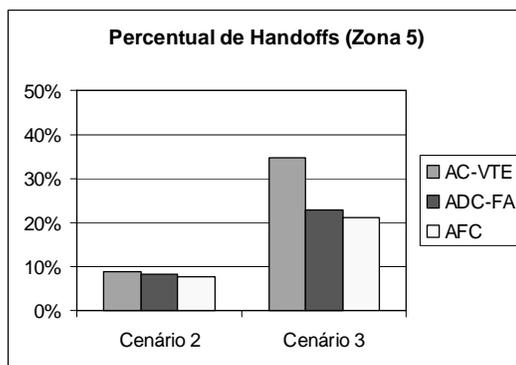


Fig. 6(a) Geração de *handoffs* (18:30 às 19:30)

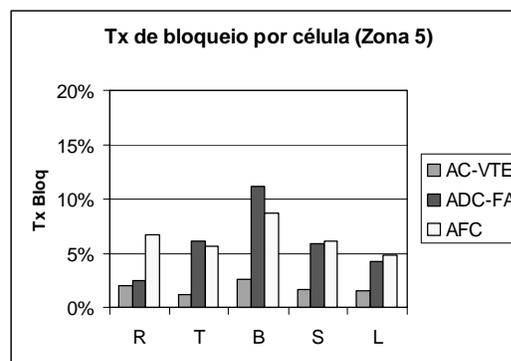


Fig. 6(b) Bloqueio cenário 3 (18:30 às 19:30)

A Fig.6(a) mostra o percentual de novas chamadas geradas que chegam a realizar um *handoff* para os três algoritmos da alocação considerados e para os cenários 2 e 3. Estes resultados foram obtidos de uma simulação entre 18:30 e 19:30 da noite, o que corresponde a Zona Temporal 5, com  $\lambda=0,6$  chamadas/segundo. Observa-se claramente a diferença entre os

cenários, resultado dos novos parâmetros de mobilidade adotados no cenário 3, no qual um percentual muito maior de usuários realizam *handoff* para os três algoritmos.

Outro fator que influencia a geração de *handoffs* é a eficiência do algoritmo de alocação de canal. Como o número de pedidos de *handoff* depende do número de chamadas em andamento, a tendência é que o algoritmo mais eficiente apresente uma quantidade maior de *handoffs*, como pode ser visto na Fig. 6(b). No cenário 3, o algoritmo mais eficiente, ou seja, com menor bloqueio foi o AC-VTE, o que contribuiu para um maior percentual de *handoffs* em relação aos demais para o mesmo cenário.

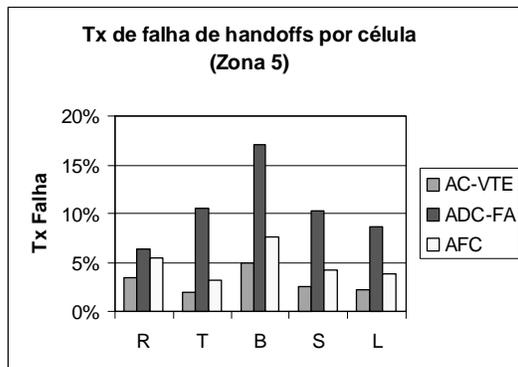


Fig. 7(a) Falhas de *handoffs* (18:30 às 19:30)

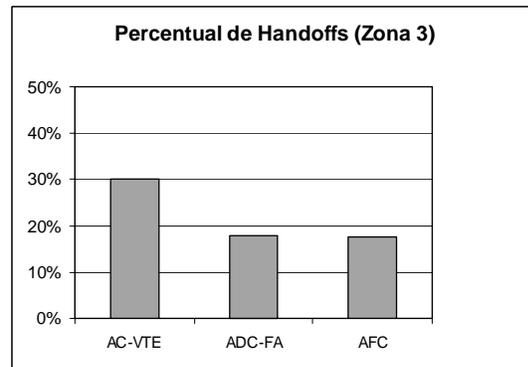


Fig. 7(b) Geração de *handoffs* (12:30 às 13:30)

Pode-se observar na Fig. 7(a) que a proposta AC-VTE apresentou a menor taxa de falhas para todos os tipos de células, mesmo submetida a um maior tráfego de *handoffs*. Sendo que, o melhor resultado foi conseguido nas células do tipo trabalho (1,944%), shopping (2,496%) e lazer (2,236%), que são as células nas quais é maior o fluxo de usuários durante o horário simulado (18:30 às 19:30). Estes resultados demonstram a eficiência da distribuição dos canais de acordo com as características de cada região.

Destaca-se também, o nível dos valores conseguidos com as técnicas AFC e ADC-FA, que foram muito elevados, chegando aos valores máximos de 7,630% (AFC) e 17,14% (ADC-FA). Esses valores citados representam níveis de QoS inaceitáveis em um sistema celular real.

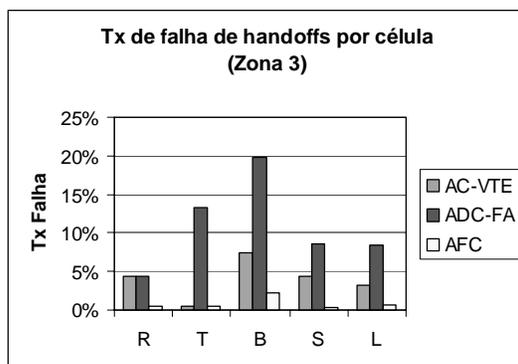


Fig. 8(a) Falhas de *handoffs* (12:30 às 13:30)

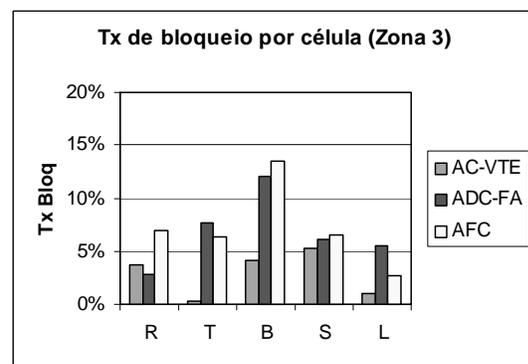


Fig. 8(b) Falhas de *handoffs* (12:30 às 13:30)

Foi realizada também, uma simulação no horário de 12:30 às 13:30 (Zona 3). O percentual das requisições de novas chamadas que realizam *handoff* para os três algoritmos pode ser visto na Fig.7(b). Novamente pode-se verificar um maior percentual de *handoff* utilizando-se o algoritmo AC-VTE, chegando este a 30 % das requisições de novas chamadas, contra menos de 20% com os demais algoritmos.

Baseando-se nos resultados da Fig.7(b), pode-se analisar melhor a taxa média de falha de *handoffs* apresentada na Fig.8(a). Nessa simulação observa-se pela primeira vez uma situação em que a alocação fixa (AFC) supera em eficiência a proposta AC-VTE para quase todos os tipos de células, equiparando-se em desempenho apenas nas células do tipo T. A técnica AFC também supera a alocação dinâmica em todos os tipos de célula. No entanto, esse resultado foi conseguido em virtude de ter sido submetida a um percentual inferior de *handoffs*, mais especificamente de 17,70% contra 30,25% com a técnica AC-VTE. O pior desempenho foi verificado com a alocação dinâmica, chegando a valores inaceitáveis como 19,725% de falha de *handoffs*.

A Fig.8(b) mostra os resultados da taxa de bloqueio de novas chamadas para a mesma simulação. Neste caso, pode-se observar novamente que o melhor resultado em relação às falhas de *handoff* é conseguido pela técnica AFC em função de uma redução da QoS para os pedidos de novas chamadas. Vale destacar nesse momento que a escolha de uma proposta de alocação representa um compromisso entre o bloqueio de novas chamadas e as falhas de *handoff*. Apesar de conseguir o melhor desempenho nessa simulação, em relação às falhas de *handoff*, a alocação AFC apresentou percentuais de bloqueio mais elevados que a proposta AC-VTE. Nas células do tipo banco, por exemplo, a técnica AFC apresentou 13,474% de bloqueio, uma taxa bastante elevada. Nas células residenciais e de trabalho os bloqueios também foram superiores com a técnica AFC, comparando-se com a alocação AC-VTE. O desempenho em relação às novas chamadas impediria a escolha da técnica AFC, mostrando novamente que a alocação AC-VTE seria uma opção mais coerente.

## 5. Conclusão

Neste trabalho, foi proposta uma nova técnica de alocação de canal, chamada Alocação de Canais com Variações Temporais e Espaciais (AC-VTE) e que se baseia no conhecimento da distribuição do tráfego ao longo de toda a área de cobertura do sistema, assim como suas variações ao longo do tempo. A técnica AC-VTE realiza uma distribuição não uniforme dos canais entre as células de cada área de localização considerando suas características de “atração” pelos usuários durante as diferentes zonas temporais durante o dia. Desta forma, a distribuição dos canais vai variando com o tempo, sempre procurando beneficiar a regiões sujeitas a uma maior carga de tráfego.

Várias técnicas de alocação têm sido propostas na literatura nos últimos anos e muitas vezes o aumento da complexidade tem sido superior ao ganho em eficiência. Isto impossibilita na maioria das vezes a implementação prática dessas propostas. Ao contrário de muitas técnicas, a proposta AC-VTE, procura aumentar a eficiência através de um maior conhecimento sobre o comportamento dos usuários e conseqüentemente sobre as condições de tráfego no sistema.

Simulações foram realizadas utilizando-se a ferramenta *CELSA* juntamente com um modelo que representa de forma mais realista a mobilidade dos usuários dos serviços de telefonia, assim como, as regiões de cobertura, além de diferenciar as características de mobilidade em relação ao horário do dia. O modelo de mobilidade permitiu o ajuste eficiente dos parâmetros da técnica AC-VTE.

Nas simulações realizadas, o algoritmo AC-VTE apresentou a melhor eficiência, no que se refere ao bloqueio de novas chamadas, nas regiões submetidas a uma maior carga de tráfego, comparada com a alocação fixa de canal (AFC) e com a alocação dinâmica *First Available* (ADC-FA). Em relação aos procedimentos de *handoff*, mesmo considerando a dependência da geração desses procedimentos com a técnica de alocação utilizada, o algoritmo AC-VTE apresentou uma taxa inferior de falha de *handoffs* quando sujeito a um tráfego superior ao submetido às propostas AFC e ADC-FA. Isto demonstra que as informações sobre os usuários em poder das empresas podem exercer um papel muito importante no gerenciamento dos limitados recursos de frequência disponíveis para os sistemas celulares.

Uma opção para a obtenção dessas informações sobre previsão de tráfego e mobilidade, que possibilitarão a implementação em uma rede real da proposta AC-VTE, seria através pesquisas sobre as características sócio-econômica dos usuários e também, através análise dos próprios bancos de dados que guardam informações de todos os procedimentos de acesso à rede celular executados por cada usuários.

## 6. Referências Bibliográficas

- [1] Alencar, B. – Um Modelo de Mobilidade de Usuários para Redes de Comunicação Móvel Celular, Dissertação de Mestrado, Centro de Informática, Março, 1999.
- [2] Borst, S. and Whiting, P. – *Achievable Performance of Dynamic Channel Assignment Schemes under Varying Reuse Constraints* – IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 49, No. 4, July 2000.
- [3] Cao, G. and Singhal, M. – *Distributed Fault-Tolerant Channel Allocation for Cellular Networks* – IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol. 18, No. 7, July 2000.
- [4] E. Del Re, R. Fantacci, G. Giambene – *Handover and Dynamic Channel Allocation Techniques in Mobile Cellular Networks* - IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. 44, nº 2, pp. 229-237, 1995.
- [5] Jairo C. de Oliveira & at. al.- *Uma Ferramenta para Análise da Carga de Sinalização em Redes de Comunicação Móvel Celular* – WSCF 2000 , Belo Horizonte, Maio 2000.
- [6] Katzela & Naghshineh, M. – *Channel Assignment Schemes for Cellular Mobile Telecommunication Systems* – IEEE Personal Communications, June 1996.
- [7] Hiew, Pang and Zukerman, Moshe – *Efficiency Comparison of Channel Allocation Schemes for Digital Mobile Communication Networks* – IEEE Transactions on Vehicular Thecnology, Vol. 49, No. 3, May 2000.
- [8] Oliver, M and Paradells, J. – *Adaptative Channel Reservation Mechanism for Wireless Networks* – MoMUC, Seul 1997.
- [9] Salles, R. M. – *Protocolos de Múltiplo Acesso para Redes Sem Fio* – Dissertação de Mestrado, Instituto Militar de Engenharia, 1998.
- [10] Shinoda, A. e Yacoub, M – *Novos Algoritmos de Alocação Dinâmica de Canais* –XV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Recife, 1997.