

# Software Educacional para Dimensionamento de Sistemas Móveis Celulares

A.M.Cavalcante, E. S. Lelis, G. H. S. Carvalho, G. P. S. Cavalcante e J.C.W.A. Costa

UFPA—Universidade Federal do Pará – Departamento de Engenharia Elétrica e de Computação - DEEC,

Laboratório de Eletromagnetismo aplicado – LEA

Av. Augusto Corrêa nº 01 – CP:8619, CEP: 66075-900 Belém/PA, BRASIL

**Resumo** — Neste trabalho se apresenta o ambiente computacional CELLP, que objetiva realizar os principais procedimentos empregados no processo de dimensionamento de redes móveis celulares. O *software* foi desenvolvido principalmente para fins educacionais, mas também pode ser usado como base de um pré-projeto de um planejamento de um sistema móvel celular real.

**Palavras-chaves** — *Software* educacional, dimensionamento, sistema móvel celular.

O ambiente computacional mencionado deve prover informações quanto ao processo de dimensionamento de redes móveis celulares de sistemas baseados principalmente na técnica de acesso TDMA, e servir de apoio às disciplinas que envolvem o estudo de sistemas móveis celulares nos Cursos de Engenharia Elétrica. Apesar desse *software* ter sido desenvolvido principalmente para fins educacionais, ele pode ser usado como base de um pré-projeto simples de um planejamento de um sistema móvel celular real.

## I. INTRODUÇÃO

Os Sistemas Móveis Celulares foram uma das redes de telecomunicações que mais cresceram nos últimos anos, e previsões apontam que tais redes, assim como as demais tecnologias *wireless*, continuarão em crescente evolução. No Brasil, as comunicações móveis celulares vem experimentando um rápido desenvolvimento, e após a recente regulamentação da ANATEL para exploração das Bandas C, D e E, novas tecnologias despontam para oferecer novos serviços, especialmente serviços de dados em altas taxas. Além disso, os sistemas de terceira geração (3G) possibilitarão o oferecimento de serviços multimídias em redes celulares *wireless*, o que ratifica a previsão de que o mercado de telefonia celular deverá continuar em crescente expansão. Entretanto, é notório que a velocidade de introdução de novas tecnologias de redes *wireless*, para o oferecimento de serviços banda larga ao assinante, tem também forçado que os estudantes de Engenharia com ênfase em Telecomunicações, e os demais profissionais da área, desenvolvam uma sólida formação nesse campo, o que tem induzido ações nas instituições de ensino para uma formação, treinamento e reciclagem de profissionais, que atendam a essas exigências do mercado. Nesse contexto, foi proposto um *software* denominado de CELLP para uso por alunos de Cursos de Engenharia Elétrica com ênfase em Telecomunicações, o qual é apresentado neste trabalho.

## II. PLANEJAMENTO DA REDE MÓVEL CELULAR

O processo de planejamento de uma rede móvel celular consiste de várias etapas que se realimentam constantemente resultando em um processo final dinâmico. Dentre essas etapas está o processo de dimensionamento da rede, cujo papel fundamental é estimar a área de cobertura das células, a quantidade de Estações Rádio Base (ERBs), o número de canais de rádio necessários para atender a demanda de tráfego, o plano de reuso, e a robustez da rede frente às alterações da demanda de tráfego. Todas as estimativas são baseadas nos requisitos da operadora quanto a capacidade, cobertura e qualidade de serviço (QoS) [1]. A outra etapa consiste do planejamento detalhado (ajuste fino do dimensionamento), que requer o uso de ferramentas computacionais de alta precisão com grandes bancos de dados da propagação do sinal e do tráfego estimado por célula. Por fim, a etapa de otimização, cuja finalidade é estimar o desempenho atual e futuro da rede, para que se possam fazer ajustes que a otimizem. A execução do projeto entretanto, envolve variações e está submetida a condições de natureza prática, a procedimentos específicos utilizados pela empresa e pelo projetista, às características da região a ser coberta e à quantidade e precisão das informações disponíveis [2].

A seguir, serão mostrados alguns procedimentos básicos usados no processo de dimensionamento de redes móveis celulares baseados na técnica de acesso TDMA.

### A. Dimensionamento

O dimensionamento é um processo no qual as possíveis configurações e as quantidades de equipamentos da rede são estimados, baseados nos requisitos da operadora relacionados basicamente com [1]:

A. M. Cavalcante, amc@supriada.com.br, E. S. Lelis, elainesl@nautilus.com.br, G. H. S. Carvalho, ghscarvalho@bol.com.br, G. P. S. Cavalcante, gervasio@ufpa.com.br, J. C. W. C. A. Costa, jweyl@ufpa.br, Tel +55-91-2111302, Fax +55-91-2111634; Este trabalho foi parcialmente financiado pelo CNPq, através do Projeto intitulado “Desenvolvimento de Ambientes Computacionais para Análise de Dispositivos e Sistemas para Redes de Comunicações Ópticas e Móveis”.

Cobertura:

- regiões de cobertura
- informação do tipo de área
- condições de propagação
- Capacidade:
  - espectro disponível
  - previsão do crescimento do número de usuários
  - informação da densidade de tráfego
- Qualidade de Serviço (QoS)
  - probabilidade de bloqueio (Grau de Serviço - GOS)
  - probabilidade de cobertura (CAP)
  - outros parâmetros de qualidade referentes a eficiência da técnica de alocação de canais.

As atividades de dimensionamento incluem o balanço de potência e análises de cobertura, capacidade e qualidade de serviço (QoS).

1) *Balanço de Potência (Link Budget)*: Para a realização do balanço de potência do enlace, tem-se primeiramente que caracterizar o ambiente de propagação, fornecer parâmetros típicos dos *hardwares* envolvidos, e determinar alguns parâmetros (margens e perdas adicionais) que garantam os requisitos de capacidade, cobertura e QoS.

É importante ressaltar que o balanço de potência deve ser realizado nos dois enlaces básicos (*downlink* e *uplink*), e deve ser o mais balanceado possível (i.e., perda de propagação máxima permitida iguais nos dois enlaces).

Através do balanço de potência é possível basicamente fazer a previsão do raio máximo de cobertura das células e do número de ERBs necessárias para cobrir uma determinada área com determinados requisitos de qualidade previamente estabelecidos pela operadora.

2) *Projeto de Tráfego nos Sistemas Celulares*: O projeto de tráfego nos sistemas celulares consiste em uma das principais etapas no processo do planejamento celular, pois realiza duas funções básicas [3]:

- contagem de tráfego por célula
- determinação do número de canais necessários por célula;

Este projeto faz uso de um mapa de tráfego, que consiste na divisão da região de interesse em sub-regiões (quadrículas), cada qual contendo sua respectiva densidade de tráfego média e/ou em HMM (Hora de Maior Movimento). A definição da distribuição do tráfego da região de interesse é geralmente determinada a partir de dados da distribuição de densidade populacional e de outros fatores relevantes como distribuição de renda e tipo de atividade econômica [4].

3) *Parâmetros de QoS para Análise de Tráfego*: A QoS está associada a parâmetros ou medidas que quantificam, monitoram e controlam o desempenho do sistema sob determinadas situações de tráfego, aos quais o sistema se submeterá durante sua operação. Esses parâmetros ou medidas estão associados com a técnica de alocação de canal escolhida durante o planejamento do sistema [5].

Para manter a QoS estabelecida é necessário o uso eficiente do espectro de frequência. A eficiência espectral está intimamente ligada ao uso eficiente dos recursos econômicos

disponíveis para o sistema. O uso eficiente do espectro permite que a área geográfica a ser atendida, possa ser coberta da melhor forma possível, diminuindo o número de ERBs no sistema, e com isso, diminuindo o custo de implantação e manutenção do mesmo.

3.1) *Parâmetro para Análise Local*: Um parâmetro amplamente aceito na análise de desempenho da rede móvel celular é a probabilidade de bloqueio ( $P_B$ ) de uma nova chamada, que expressa a porcentagem de chamadas que não são atendidas pelo sistema, ou seja, que são bloqueadas devido à indisponibilidade de canais no momento do acesso inicial. Esse parâmetro é bem representado pela fórmula de Erlang B, definida em [5]-[7].

3.2) *Parâmetro para Análise Global*: O parâmetro de QoS para análise global da rede celular é calculado a partir das probabilidades de bloqueio ( $P_B$ ) em cada célula da seguinte forma: Dado  $N$ , o número de células do sistema e  $\lambda$  as razões de chegadas de chamadas totais dentro de cada célula, a probabilidade global de bloqueio da rede ( $\bar{P}_B$ ), é definida como [5][9]:

$$\bar{P}_B = A^{-1} \sum_{i=1}^N P_i \lambda_i \quad (1)$$

Onde  $A = \lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_N$ , ou seja, o somatório das razões de chegadas de chamadas de todas as células e  $P_i$  é a probabilidade de bloqueio da célula  $i$  dado pela fórmula de Erlang B.

3.3) *Parâmetro para o Desvio de Serviço*: O Desvio de Serviço, embora seja um parâmetro pouco citado na literatura, tem uma profunda relevância na análise de desempenho da rede móvel celular, pois mostra o exato momento em que algumas células da rede começam degradar a QoS [5]. Ele é definido em [9] como a variação entre as células da probabilidade de bloqueio de uma nova chamada, e para medir essa quantidade, utiliza-se uma classe de medidas denominadas de bloqueio excessivo de ordem  $p$ , representada por  $EB(p)$ , com  $p \geq 1$ . Essa medida tem as seguintes características [9]: fazem referência ao GOS; é ponderada pelas razões de tráfego em cada célula e penalizam somente as células acima do GOS.

Dado um conjunto de células com a probabilidade de bloqueio local  $P_B$  acima de 2%, a classe de medidas  $EB(p)$ , com  $p \geq 1$ , é definida como [9]:

$$EB(p) = \left[ \sum_{i=1}^N (P_{Bi} - 0.02)^p \frac{\lambda_i}{A} \right]^{1/p}, p = 1, 2, \dots \quad (2)$$

Uma medida típica e bem definida de  $p$ , é o valor igual a 2 [5],[9].

4) *Definição do Plano de Reuso*: O plano de reuso deve ser escolhido de modo a atender o limite de relação sinal-interferência que garanta o requisito de qualidade do sistema e, ao mesmo tempo, assegure um número de canais por célula que permita o escoamento da demanda de tráfego. É preciso considerar basicamente dois fatores [2]:

- Quanto menor a razão de reuso  $q$  (distância de reuso normalizado com o raio da célula –  $D/R$ ) maior o número de canais por célula, acarretando maior capacidade de tráfego para um dado grau de serviço (GOS).
- Quanto maior a razão de reuso  $q$  menor a interferência co-canal e, conseqüentemente, melhor a qualidade de transmissão.

Há casos entretanto, que o projetista consegue determinar um plano de reuso  $N$  que mantém a interferência dentro do limite aceitável. Porém, ele não consegue atender a demanda de tráfego, sendo necessário portanto, aceitar um grau de serviço maior que o originalmente desejado, ou reduzir o raio da célula, de modo a diminuir o número de usuários e, conseqüentemente, a demanda de tráfego por célula [4].

### III AMBIENTE COMPUTACIONAL CELLP

O ambiente computacional CELLP foi desenvolvido na linguagem de programação orientada a objetos DELPHI 5.0 e é composto por vários sub-programas que realizam uma determinada etapa referente ao processo de dimensionamento da rede móvel celular. A Fig. 1 mostra a janela principal do CELLP. Através dessa janela é possível acessar os diversos sub-programas através dos botões laterais.



Fig. 1. Ambiente do *software* CELLP

#### A. Predict

O *software* Predict realiza estudos estatísticos comparativos dos modelos clássicos de predição. Tal comparação visa avaliar o desempenho dos mesmos frente aos dados de uma campanha de medições realizada em uma determinada região. Os modelos considerados nesse programa são [4],[10]: Espaço-Livre, Okumura-Hata, Okumura-Hata modificado, Walfisch-Ikegami, Walfisch-Bertoni, Maciel-Bertoni-Xia e Ibrahim-Parsons.

O usuário deve fornecer os parâmetros do sistema (potência transmitida, frequência, etc) que foram utilizados na campanha de medições de referência. Deve também selecionar os modelos que serão colocados sob avaliação assim como os parâmetros urbanos necessários para a aplicação dos mesmos. Após isso, o usuário deve entrar com a base de dados da potência recebida (dBm) versus distância (m) da campanha de medições realizada na região de interesse. A base de dados pode ser editada manualmente ou ser importada de um arquivo de dados existente.

A Fig. 2 mostra um exemplo de uma avaliação gráfica dos modelos considerados frente aos dados de uma campanha de medições e a Fig. 3 mostra o desempenho dos modelos testados frente às medidas sobre três aspectos: Desvio Absoluto (dB), Erro Médio Absoluto (dB) e Erro RMS (dB), conforme descritos em [4]. Os resultados obtidos (gráfico e dados estatísticos) podem ser gerados em um relatório.

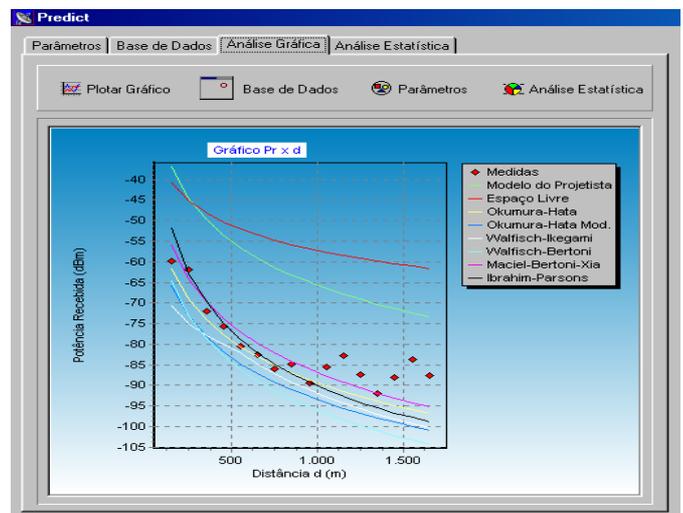


Fig. 2. Software Predict - Paleta Análise Gráfica.

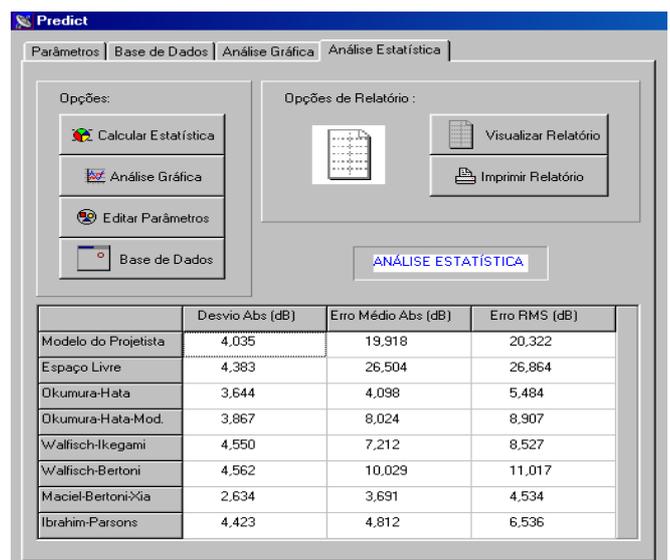


Fig. 3. Software Predict - Paleta Análise Estatística.

## B. Radio Link

O *software* Radio Link realiza o Balanço-de-Potência-do Enlace (*Link Power Budget*). Através desse *software* se pode estimar o raio máximo das células, e assim, estimar preliminarmente o número total de ERBs necessária para cobrir uma determinada região. Essa estimativa pode ser feita considerando a probabilidade de área coberta (*CAP*) para o desvanecimento log-normal. No *software*, o cálculo do balanço-de-potência é realizado para os dois enlaces básicos (*downlink* e o *uplink*) e considera os mesmos modelos de predição de perdas já mencionados. A Fig. 4 mostra um exemplo dos resultados obtidos pelo programa, que podem também ser gerados em um relatório.

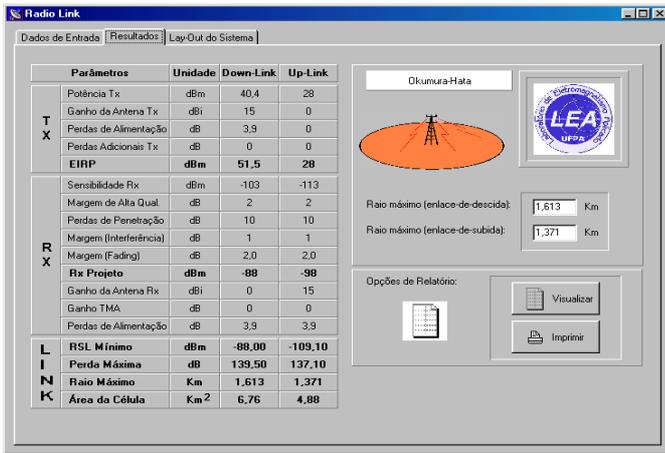


Fig. 4. Software Radio Link-Paleta Dados de Entrada

## C. Traffic Design

O *software* Traffic Design realiza o projeto de tráfego a partir de um mapa de tráfego produzido em qualquer formato gráfico usual (jpg, jpeg, bmp, emf ou wmf). Um mapa de tráfego consiste da divisão em quadrículas do mapa da região de interesse, onde cada quadrícula deve representar o tráfego oferecido na área delimitada pela mesma. No *software*, apenas quatro possibilidades de intensidade de tráfego são permitidas, cada uma associada a diferentes cores de preenchimento da quadrícula. Essa associação deve ser fornecida ao programa para que o projeto seja válido. Realizada a parte de entrada de dados do programa, o usuário deve especificar o raio das células que formarão a grade hexagonal que será sobreposta ao mapa (raio máximo determinado no balanço de potência). Em seguida, pode ser realizado o processo de contagem de tráfego na área da célula correspondente a ERB de referência (definida pelo usuário), e por fim, pode-se determinar o número de canais necessários para atender tal tráfego com um GOS previamente estabelecido pelo usuário. Os resultados são mostrados no próprio programa e podem ser gerados em um relatório. A Fig. 5 mostra um exemplo de um projeto.

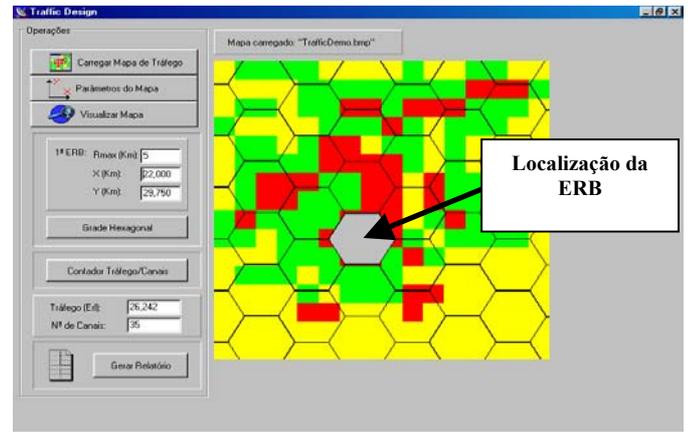


Fig. 5. Ambiente do Software

## D. Celtra

O *software* Celtra realiza uma análise gráfica de desempenho da rede móvel celular de acordo com os parâmetros de QoS descritos na seção II.A.3. Esse *software* aborda o esquema de alocação de canal fixa, que pode se dar de forma uniforme ou não uniforme. Para a análise, o projetista primeiramente deve escolher o esquema de alocação de canal fixa desejável para então determinar e distribuir espacialmente as ERBs que farão parte do projeto, que é realizado com o auxílio do *mouse*.

Os parâmetros do projeto são inseridos através dos campos referentes a:

- “Informações da Célula”: entrada dos dados referentes aos parâmetros do sistema que serão utilizados para o cálculo do número de canais em cada ERB (padrão de reuso, tempo de retenção do canal e intensidade de chamadas).
- “Simulação”: o aumento de carga ao sistema (aumento na mesma proporção da intensidade de chamadas de todas as ERBs do sistema) é inserido através da barra de rolagem. Deve-se também determinar o parâmetro “*p*” de  $EB(p)$ . A Fig. 6 mostra um exemplo da distribuição das ERBs e da inserção de parâmetros no ambiente do *software*.

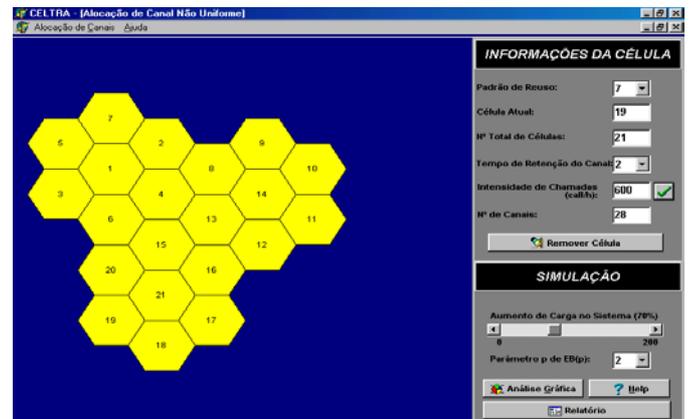


Fig. 6. Ambiente do Software

Através da simulação (botão “Análise Gráfica”) são gerados gráficos de acordo com os parâmetros de QoS (Análise Local, Análise Global e Desvio de Serviço), bem como o da carga de degradação inicial para cada ERB. Além de gerar um relatório contendo todas as informações contidas no projeto, esse *software* ainda possui como auxílio um *help* que contém tanto a parte teórica como exemplos práticos de como simular o Celtra. As Figs. 7-10 mostram as análises gráficas.

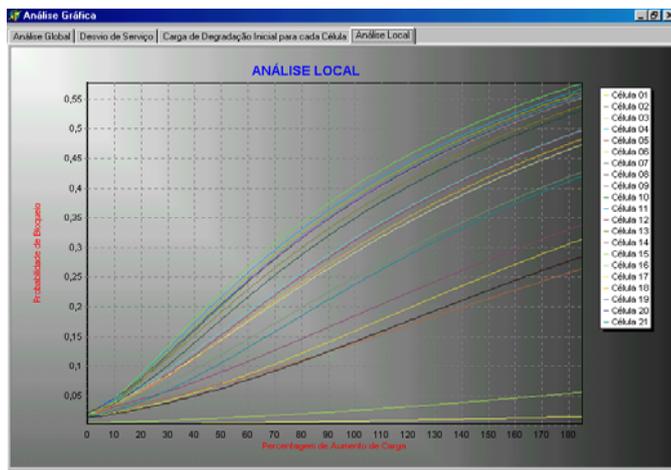
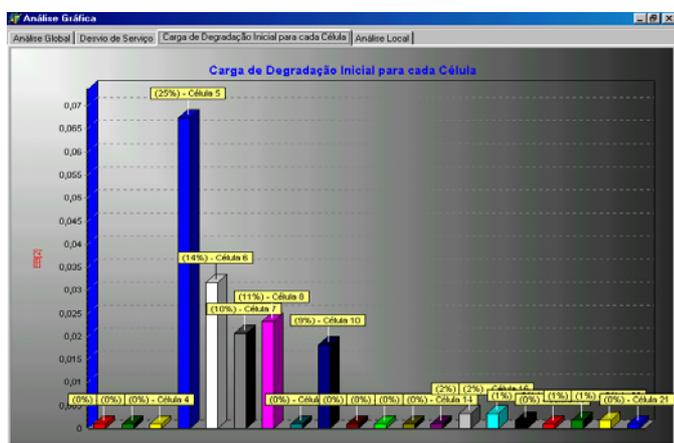
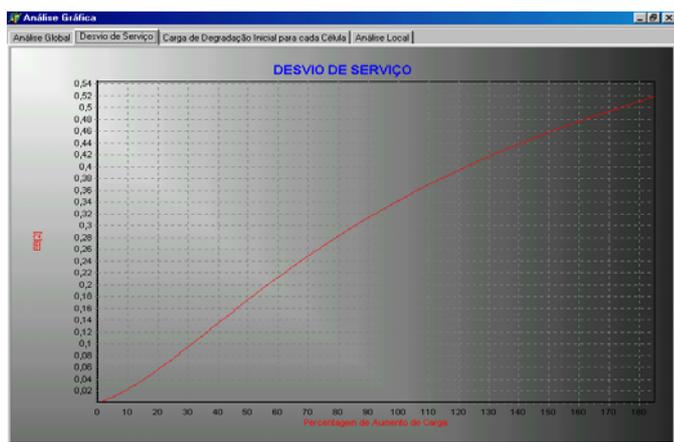
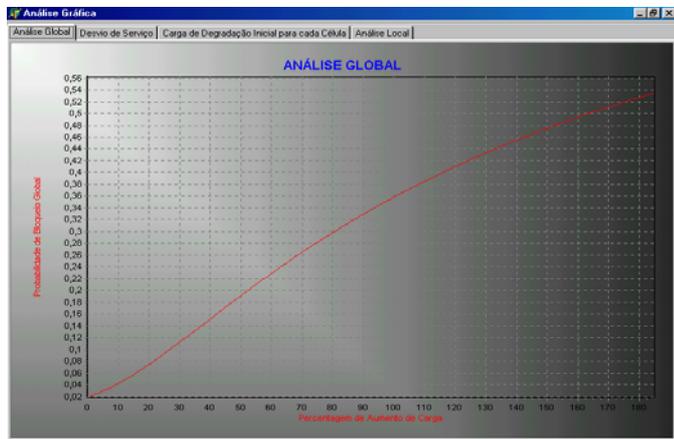


Fig. 10. Análise Local

#### IV CONCLUSÕES

Neste trabalho foi apresentado o ambiente computacional CELLP, que realiza as principais etapas empregadas no processo de dimensionamento de redes móveis celulares. O *software* foi desenvolvido para servir de apoio às disciplinas que tratam de sistemas móveis celulares nos cursos de engenharia elétrica do DEEC da UFPA, fornecendo um material didático de conhecimento básico e de informações para análise e planejamento de tais sistemas. Apesar desse *software* ter um cunho principalmente educacional, ele pode ser usado como base de formação, treinamento e reciclagem de profissionais, para atender às novas exigências do mercado.

#### REFERÊNCIAS

- [1] Holma, H. – “WCDMA for UMTS”, John Wiley & Sons, Ltd, 2000.
- [2] Mello, L. A. R. S, Coelho, L. R., *et al.* – “Sistemas Rádio Celulares”, Relatório Técnico - CETUC/PUC-RJ, 2000.
- [3] Faruque, S.–“Cellular Mobile Radio Engineering”, Artech House, 1996.
- [4] Cavalcante, A. M. “Ambiente Computacional para Planejamento de Sistemas Móveis Celulares”, Trabalho de Conclusão de Curso, CT/UFPA, Março/2001.
- [5] Carvalho, G. H. S. – “Análise da Qualidade de Serviço Aplicada a Redes Móveis com Alocação de Canal Fixa”, Tese de Mestrado PPGEE/UFPA, Agosto/2001.
- [6] “Teoria de Tráfego Telefônico, Tabelas e Gráficos”, Siemens A.G, São Paulo: Novell, 2ª edição, 1985.
- [7] Gomes, S. M. C. – “Tráfego: Teoria e Aplicações”, Rio de Janeiro: EMBRATEL, São Paulo: McGraw-Hill, 1990.
- [8] Alencar, M. S. – “Telefonia Digital”, Érica Ltda, 2001.
- [9] Yum, T. S. P., Yeung, K. L. – “A New Quality of Service Measure for Cellular Radio Systems”, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 46, No.3, August 1997.
- [10] Cavalcante, G. P. S. – “Canal de Rádio Propagação”, Relatório Técnico – DEEC/UFPA, 2000.