

## **Aplicações de Imagens de Sensoriamento Remoto no Estudo de Modelos de Propagação em Redes de Comunicações Sem fio**

Gilson Alves de Alencar  
Renata Braz Falcão da Costa

Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca – CEFET/RJ  
Av. Maracanã, 229 - 20271-110 - RJ, Brasil  
gilsonalencar@cefet-rj.br  
rbfcosta@cefet-rj.br

**Abstract.** Propagation models for coverage prediction in wireless communications are strongly influenced by terrain features. A good knowledge of terrain profile can help us to carried out simulations of propagation models with better accuracy. Most of these models taking into account information of building density, vegetation and water for the path loss estimation between a base station and a user terminal. In this sense, images from remote sensing satellites are very useful to obtain details about terrain occupation to perform a coverage analysis in a wireless metropolitan network. In other to assess building and vegetation occupation density, real reflectance of a image and a classification method were used. The SUI (Stanford University Interim) propagation model considering frequencies around to 2.5 GHz were analyzed with terrain features extract from images of remote sensing satellites as CBERS-2B. All analyzes were performed considering a WiMAX (Worldwide Interoperability for Microwave Access) network standard for fixed wireless applications. Maracanã in Rio de Janeiro was our choice to the location where the coverage analysis should be performed. Communication solutions in this area are expected to attend future demands of events as 2014 World Cup and 2016 Olympic Games.

**Palavras-chave:** wireless communications, propagation models, remote sensing satellites, comunicações sem fio, modelos de propagação, satélites de sensoriamento remoto.

### **1. Introdução**

A tecnologia de redes de comunicações sem fio tem sido encarada como solução de conectividade em regiões onde a infraestrutura de comunicações é precária e até como alternativa de conexão para grandes centros urbanos com redes de comunicações saturadas. Esta tecnologia tem grande potencial como alternativa para a expansão das redes de acesso e possibilita a inclusão de localidades remotas nas políticas de desenvolvimento educacional e tecnológico. No entanto, o planejamento de uma rede de comunicações sem fio principalmente, as de grande abrangência, requer um conhecimento detalhado do terreno correspondente a região a ser atendida pelo serviço de comunicações. Determinadas características como edificações, relevo, cobertura vegetal e corpo d'água têm grande peso nos estudos de cobertura. Sendo assim, imagens de sensoriamento remoto podem contribuir significativamente para o conhecimento do terreno, através das quais é possível identificar a ocupação predominante e obter características peculiares do mesmo. Além de auxiliar na caracterização de alvos, as imagens de sensoriamento remoto ajudam na preparação da base de dados georreferenciada de relevo necessária ao estudo dos modelos de propagação. Neste trabalho é apresentado um estudo de cobertura para implantação de uma rede de comunicações sem fio no padrão WiMAX [1] na região do Maracanã no Rio de Janeiro utilizando inicialmente, o modelo de propagação SUI (Stanford University Interim) [2]. A região do Maracanã é uma área estratégica para o Rio de Janeiro em virtude da realização da Copa do Mundo de 2014 e dos Jogos Olímpicos de 2016. É esperado nesta região um aumento considerável de demanda por telecomunicações tendo em vista a necessidade de atender serviços de interesse público relacionados a segurança, entretenimento e jornalismo. Imagens dos satélites CBERS-2B, Landsat 7 e de alta resolução do satélite GeoEye foram

utilizadas no levantamento do terreno e na preparação da base de dados necessária a simulação dos modelos de propagação. Tendo como base a nossa política de uso exclusivo de softwares livres, o Spring [3] rodando em plataforma Linux foi utilizado para processamento das informações geográficas e para representar graficamente os resultados de cobertura obtidos pelos modelos de propagação.

Na seção 2 do trabalho são apresentados os recursos e as técnicas utilizadas para se obter as informações desejadas a partir das imagens de sensoriamento remoto no estudo de cobertura. Na seção 3, são discutidos aspectos relacionados ao modelo de propagação adotado neste trabalho. Na seção 4, os resultados são analisados. Por fim, as conclusões do trabalho são apresentadas na seção 5.

## 2. Sensoriamento Remoto no Estudo de Cobertura

Uma análise de cobertura mais precisa em uma rede de comunicações sem fio requer um conhecimento detalhado do terreno correspondente a área de interesse. Neste caso, imagens de satélite de sensoriamento remoto aliadas à ferramentas de geoprocessamento podem contribuir significativamente para este estudo. A política de acesso gratuito às imagens adotada pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) contribuirão em muito para o desenvolvimento de trabalhos mais avançados na área de telecomunicações em especial, estudos de propagação de ondas de rádio, a medida que é possível obter imagens de satélite sem custo de qualquer região do Brasil. Este trabalho enfatiza o uso de imagens de satélite de sensoriamento remoto em telecomunicações em dois momentos. Primeiramente, as imagens são usadas na construção de uma base de dados georreferenciada necessária às simulações de propagação sobre a região de interesse. Posteriormente, as imagens são empregadas no detalhamento da ocupação do terreno ajudando a identificar alvos como área construída, corpo d'água e vegetação. Esta caracterização é importante para os modelos de propagação que têm seu equacionamento modificado de acordo com o tipo de terreno, como é o caso do modelo SUI. Neste trabalho, imagens dos satélites CBERS-2B (sensor CCD com resolução espacial de 20 m), LANDSAT 7 (sensor ETM+ com resolução de 30 m) e GeoEye (imagem com resolução espacial de 50 cm) foram usadas na análise de cobertura sem fio.

Na primeira etapa do trabalho, imagens do CBERS-2B obtidas do catálogo do INPE [4] e LANDSAT 7 ortorretificadas obtidas do catálogo *Global Land Cover Facility* [5] foram importadas para o Spring no qual todo o projeto foi desenvolvido. As imagens LANDSAT 7 ortorretificadas serviram para corrigir geometricamente as imagens do CBERS-2B através de pontos de controle. O Spring foi utilizado também para mostrar as manchas de cobertura originadas nas simulações do modelo de propagação [6]. Dados de edificação e relevo provenientes da Prefeitura do Rio de Janeiro, com resolução espacial de 20 m, foram utilizados no detalhamento da região do Maracanã.

A caracterização de alvos para identificar área construída e de vegetação, foi realizada usando técnicas de segmentação com classificação e análise espectral em um recorte da imagem CBERS-2B. As imagens de alta resolução do satélite GeoEye contribuíram para a verificação dos resultados dos processos anteriores. Primeiramente, um recorte da imagem CBERS-2B correspondente a área do Maracanã foi segmentado e classificado com base em amostras de objetos como edificação, vias, vegetação e corpo d'água. Através do classificador Bhattacharya, os alvos de interesse na imagem foram identificados. A Figura 1 ilustra o resultado deste processo. Apesar da imagem de alta resolução do GeoEye mostrar claramente que se trata de uma região urbana densa, este método serviu para criar uma forma de se quantificar a densidade de ocupação urbana e associá-la corretamente com o tipo de terreno no modelo de propagação. Em muitos casos, a informação visual pode não estar muito clara e levar a uma classificação incorreta do tipo de terreno no modelo de propagação. Após a segmentação e classificação, informações de reflectância real foram usadas com uma outra

alternativa para identificar alvos de interesse na imagem. A reflectância real do recorte da imagem CBERS-2B CCD na banda do infravermelho próximo ( $0,77$  a  $0,89\mu\text{m}$ ) foi obtida através do modelo de correção atmosférica 5S [7] com base em dados de aerossol do sensor MODIS satélite Terra considerando um modelo de atmosfera tropical e um modelo de aerossol urbano. A Figura 2 mostra o resultado obtido a partir da identificação de alvos por reflectância real.

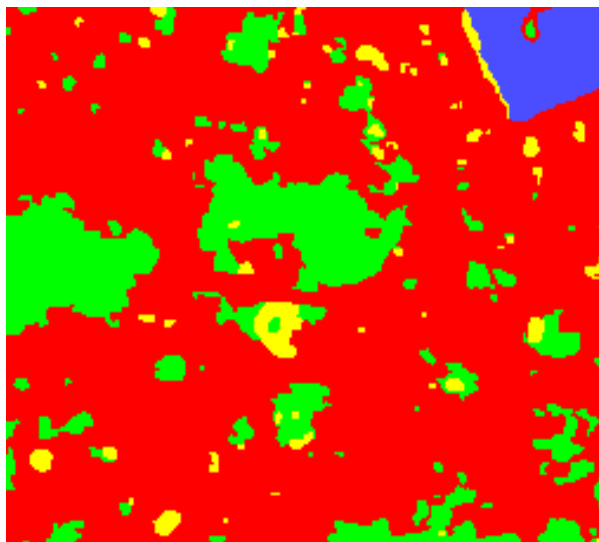


Figura 1. Imagem obtida por classificação com uso de amostras.

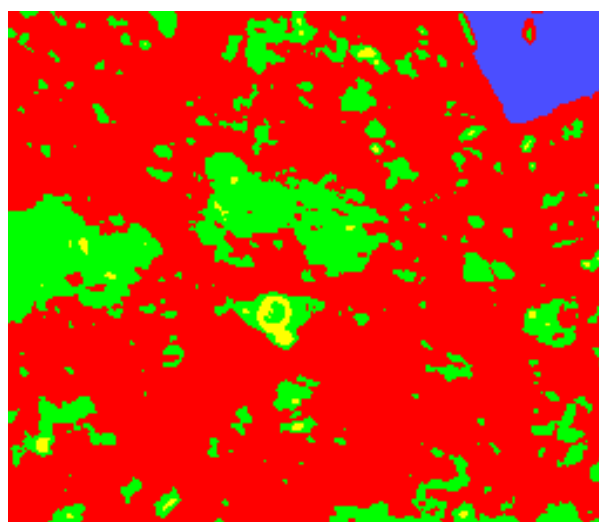


Figura 2. Imagem obtida através da reflectância real.

Observando as Figuras 1 e 2 notamos uma certa similaridade nos resultados. No que se refere a estudos de cobertura para aplicações em telecomunicações esses resultados se mostram bastante favoráveis já que as áreas de vegetação (representadas na cor verde), área

construída (representada nas cores vermelha e amarela) e corpo d'água (representada na cor azul) são facilmente separadas. Estudos mais aprofundados devem ser conduzidos para analisar o processo de classificação de alvos que mais se adequa aos estudos de cobertura. A Tabela 1 apresenta os resultados correspondentes as imagens das Figuras 1 e 2 no que se refere a densidade urbana e de vegetação com valores de área e índice de ocupação obtidos com a ferramenta LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico). Cabe ressaltar que consideramos o elemento urbanização na Tabela 1 como área construída (edificações, vias urbanas e áreas públicas) nas análises das imagens de sensoriamento remoto.

Tabela 1. Taxa de ocupação urbana e de vegetação.

<b>Imagem</b>	<b>Região</b>	<b>Área (Km<sup>2</sup>)</b>	<b>Ocupação</b>
Figura 1	Vegetação	3,7192	17,30%
	Urbanização	17,0596	79,20%
Figura 2	Vegetação	3,9660	18,41%
	Urbanização	16,7524	77,80%

### 3. Modelos de Propagação

Os modelos de propagação são essenciais nas análises computacionais de cobertura. A escolha do modelo adequado implica em uma predição mais precisa que resulta em um melhor dimensionamento do sistema evitando assim, custos adicionais por falhas de projeto. No entanto criar um modelo que se adequa perfeitamente às condições de propagação é uma tarefa muito difícil. Diversos fenômenos físicos estão associados a propagação de ondas de rádio e dependem da faixa de frequência de operação. Dentre os principais fenômenos físicos que ocorrem em sistemas de comunicações sem fio podemos citar:

- Difração devido a obstrução no percurso;
- Desvanecimento devido ao efeito multipercurso;
- Atenuação devido a gases atmosféricos;
- Atenuação devido à chuva;
- Redução da discriminação de polarização cruzada em multipercurso;
- Distorção do sinal devido ao desvanecimento seletivo de frequência e atraso durante a propagação multipercurso.

O padrão WiMAX prevê a utilização do sistema de dois modos: com terminais fixos (padrão 802.16d) e com terminais móveis (padrão 802.16e). Evoluções do padrão 802.16e estão em curso (padrão 802.16m) com promessa de oferecer aos usuários taxas de transmissão superiores a 100 Mbps [8]. Os estudos desenvolvidos neste trabalho consideraram o acesso com terminais fixos e as simulações de propagação foram realizadas com base no modelo empírico SUI (Stanford University Interim) que é adequado a este tipo de conexão. Não estamos preocupados neste momento com aspectos relacionados ao comportamento do modelo de propagação em si. O que está sendo enfatizado é a dependência do modelo com as características de terreno. O modelo SUI, derivado do trabalho realizado por Erceg et al [9] com ajuste para operação em frequências superiores a 1,9 GHz, leva em consideração três tipos de terrenos, conforme descrito na Tabela2.

Tabela 2. Tipos de terreno no modelo SUI.

<b>Tipo A</b>	Montanhoso om alta/moderada densidade de árvores
<b>Tipo B</b>	Montanhoso com baixa densidade de árvores ou planície com alta/moderada densidade de árvores.
<b>Tipo C</b>	Planície com baixa densidade de árvores

A equação básica do modelo SUI que demonstra sua dependência com as características do terreno é dada por:

$$L=A+10\gamma\log\left(\frac{d}{d_0}\right)+X_f+X_h+s \quad (1)$$

Esta equação determina as perdas na transmissão em condições de obstrução no percurso entre a antena da estação rádio-base e o terminal do usuário. Os parâmetros  $\gamma$  (expoente de perda de propagação),  $X_f$  (correção de frequência),  $X_h$  (correção da altura da antena receptora) e  $s$  (fator de atenuação com distribuição log-normal que toma em consideração sombreamento por árvores e estruturas em geral) têm seus valores modificados de acordo com os tipos de terreno especificados na Tabela 2. O parâmetro  $A$  na Equação 1, refere-se a atenuação de espaço livre na distância de referência  $d_0 = 100\text{m}$ . O modelo SUI é recomendado para predição de cobertura sem fio na faixa de frequência de 2 a 4 GHz com altura da estação rádio-base variando de 10 a 80 m, altura da antena do terminal fixo entre 2 e 10 m e raio da área de cobertura entre 0,1 e 8 Km. Essas limitações tornam o modelo mais adequado ao dimensionamento de sistemas e especificação de equipamentos ao invés de um planejamento mais detalhado [10]. Outros modelos de propagação estão sendo estudados e trabalhos mais avançados serão conduzidos para tratar do comportamento dos mesmos considerando os diferentes tipos de terreno tanto para comunicações fixas como para comunicações móveis usando imagens de satélite de sensoriamento remoto.

#### 4. Resultados e Discussões

As Figuras 1 e 2 mostram os resultados obtidos considerando duas análises distintas no estudo de alvos. O principal objetivo desta parte do trabalho foi elaborar uma forma de se avaliar a densidade de ocupação urbana em uma dada região e relacioná-la com o modelo de propagação. No caso de nosso estudo, a região do Maracanã no Rio de Janeiro foi analisada. O resultado correspondente a Figura 1 foi obtido utilizando o método de classificação Bhattacharya com treinamento a partir de amostras. Já na Figura 2, utilizou-se a reflectância real determinada com base no modelo de correção atmosférica 5S usando o programa SCORADIS. A Figura 2 foi gerada por fatiamento a partir dos valores de reflectância real de uma imagem CBERS CCD na banda do infravermelho próximo. Esta banda destaca-se por apresentar uma boa discriminação de alvos como vegetação. O uso de imagens de resolução moderada (20 m), como é o caso daquelas obtidas a partir do sensor CCD do CBERS-2B, mostrou-se satisfatório quando se deseja avaliar a densidade de ocupação urbana em uma dada região. É evidente neste caso, que não estamos preocupados com detalhes como o tipo de material que compõe determinados alvos. Apesar de sermos capazes de avaliar visualmente

a densidade de ocupação urbana, no caso particular da região do Maracanã, Rio de Janeiro, com o auxílio de imagens de alta resolução, em muitas situações esta identificação pode não ser tão óbvia. Nestes casos, faz-se necessário o uso de um critério quantitativo que possa evitar erros de interpretação e, conseqüentemente, entradas de dados incorretas nos modelos de propagação. Sendo assim, imagens de satélite de sensoriamento remoto podem ser um poderoso instrumento para auxiliar nesta avaliação. De qualquer forma, estudos mais avançados devem ser conduzidos para avaliar o método de classificação de alvos que melhor se adéqua as particularidades de um estudo de cobertura sem fio.

Os resultados apresentados na Tabela 2, indicam que a região em estudo deve ser classificada como de urbanização densa e pouca área de vegetação. Como mostra a tabela, a área construída supera os 70% e a de vegetação fica abaixo dos 20%. Neste caso, com relação ao tipo de terreno no modelo SUI, podemos classificá-lo como sendo do tipo B considerando que a região do Maracanã nos limites de nosso estudo é montanhosa. Após esta análise, o modelo de propagação SUI foi executado e gerou-se a mancha de cobertura para uma antena situada a 35 m de altura fixada em um edifício nas dependências do CEFET/RJ, conforme ilustrado na Figura 3. Observando esta figura podemos notar a dificuldade de se atender com sinal determinadas áreas em virtude das edificações e do relevo. Os cálculos de propagação foram realizados através do programa PROPAG, desenvolvido para gerar grades de potência no formato ASCII Spring, que pode receber por meio de módulos qualquer modelo de propagação. Assim, os modelos já consagrados na literatura especializada podem ser analisados e novos modelos podem ser facilmente implementados e testados.



Figura 3. Mancha de cobertura.

## 5. Conclusões

Muitos autores realizam análises de modelos de propagação desprezando detalhes importantes do terreno por falta de uma base de dados digital apropriada e pela falta de conhecimentos avançados no campo do geoprocessamento e do sensoriamento remoto. Este conhecimento pode proporcionar independência no que se refere a geração de uma base de dados digital customizada de baixo custo. Além disso, os recursos atualmente disponíveis na áreas de sensoriamento remoto proporcionam a extração de informações detalhadas a cerca de vegetação e de edificações em áreas urbanas, abrindo novas possibilidades no estudo científico da propagação de ondas de rádio em sistemas de comunicações sem fio. Neste trabalho, imagens de satélite de sensoriamento remoto foram usadas para a construção de uma base de dados digital georreferenciada customizada para a região do Maracanã no Rio de Janeiro bem como, na análise da densidade de ocupação urbana, onde se avaliou quantitativamente a proporção entre vegetação e área construída na região de interesse. Para a geração das imagens com os alvos identificados foram empregados os métodos de segmentação com classificação baseada em amostras e de reflectância real por meio de correção atmosférica (modelo 5S) em uma imagem CBERS-2B CCD na banda do infravermelho próximo. Os resultados foram similares em ambos os métodos e a solução baseada na reflectância real parece realçar um pouco mais de detalhes. Este fato pode ser explicado em virtude da banda do infravermelho próximo apresentar uma boa resposta espectral para o concreto e para a vegetação. Em um estudo de cobertura baseado em modelos de propagação que fazem uso de classificação de terreno com base em sua ocupação, estes resultados parecem satisfatórios. No entanto, a exploração de mais detalhes como a identificação do tipo de vegetação, rasteira ou arbórea, e de determinados materiais como concreto e asfalto em uma área urbana, poderão contribuir para o aperfeiçoamento dos modelos de propagação e alcançar resultados mais precisos nas predições de cobertura. Quantitativamente, os resultados da análise de densidade de ocupação urbana demonstraram que a região do Maracanã apresenta baixa densidade de vegetação, inferior a 20% em ambos os métodos. Como a região do Maracanã nos limites de nosso estudo é montanhosa, no modelo de propagação SUI, podemos classificá-la como sendo do tipo B. Cabe ressaltar, que observando uma imagem de alta resolução a vegetação na região em estudo é predominantemente arbórea com alguma incidência de vegetação rasteira. Apesar da análise de uma imagem de alta resolução mostrar de forma óbvia que a região de interesse é densamente urbanizada em muitos casos, esta conclusão poderá não ser tão clara. Deste modo, imagens de satélite de sensoriamento remoto representam um poderoso recurso na avaliação de uma região a ser coberta por um serviço de comunicações sem fio.

## Agradecimentos

Agradecemos a Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) ao suporte financeiro dado a este trabalho através do auxílio à pesquisa APQ1 homologado sob o número E-26/ 110.845/2009. Ao CPTEC/INPE pelas informações de aerossol na região do Rio de Janeiro na data de aquisição da imagem pelo satélite CBERS-2B. Gostaria de destacar a importância do programa de distribuição das imagens CBERS e LANDSAT com acesso gratuito pelo catálogo de imagens do INPE. O acesso a esta base de dados tem viabilizado o desenvolvimento de pesquisas científicas de grande relevância para o país em diversas áreas do conhecimento inclusive, no campo das telecomunicações.

## Referências Bibliográficas

- [1] WiMAX Forum – Technical Specifications. Disponível em: <<http://www.wimaxforum.org/resources>>. Acesso em: 10.nov.2010.
- [2] V. Erceg et al. **Channel models for fixed wireless application**. Tech. rep. IEEE 802.16 Broadband Wireless Access Working Group, January, 2001.
- [3] Camara G. Souza RCM; FreitasUM; Garrido J Computers & Graphics. **Spring: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modelling**. 20: (3) 395-403, May-Jun, 1996.
- [4] Catálogo de imagens CBERS. Disponível em: <<http://www.landcover.org/data/landsat>>. Acesso em: 20.mar.2010.
- [5] Catálogo de imagens LANDSAT. Disponível em: <>. Acesso em: 05.abr.2010.
- [6] Alencar, G. A.; Costa, R. B. F. Análise de cobertura em redes de comunicações sem fio utilizando a ferramenta de geoprocessamento Spring. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., Natal, 2009. **Anais ...** São José dos Campos: INPE, 2009. Artigos, p. 3425-3432. CD-ROM, On-line. ISBN 97-88-51700-0. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.23.40/doc/3425-3432.pdf>>. Acesso em: 20.nov.2010.
- [7] Jurandir Z. Junior. Correção de imagens de satélite e aplicações. 1994. 204 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 1994.
- [8] WiMAX 2 Iniciativa. Disponível em: <[http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/page/2009/12/wimax\\_2\\_collaboration\\_initiative\\_qa\\_april\\_12\\_2010.pdf](http://www.wimaxforum.org/sites/wimaxforum.org/files/page/2009/12/wimax_2_collaboration_initiative_qa_april_12_2010.pdf)>. Acesso em: 15.nov.2010.
- [9] V. Erceg et. al. An empirically based path loss model for wireless channels in suburban environments. **IEEE JSAC**, v. 17, n. 7, p. 1205-1211, 1999.
- [10] Anderson, Harry R. **Fixed broadband wireless system design**. John Wiley & Sons, 2003. 511.