

# Predicción de cobertura en sistemas LMDS/LMCS

## Prediction of coverage on LMDS/LMCS systems

M.Sc. Nelson Alexander Pérez García  
Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/Rio)  
Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC)  
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, CEP=22453-900, Rio de Janeiro, Brasil. Tlf.: +5521 5299450  
Universidad de Los Andes (ULA)  
Escuela de Ingeniería Eléctrica, Departamento de Electrónica y Comunicaciones  
Av. Tulio Febres Cordero, Facultad de Ingeniería, 5101, Mérida, Venezuela  
E-mail: nelsonp@cetuc.puc-rio.br

D.Sc. Luiz A. R. da Silva Mello  
Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC/Rio)  
Centro de Estudos em Telecomunicações (CETUC)  
Rua Marquês de São Vicente, 225, Gávea, CEP=22453-900, Rio de Janeiro, Brasil. Tlf.: +5521 5299370  
E-mail: smello@cetuc.puc-rio.br

PhD. Jörg Sebastian Michaelis  
DSC Tecnologia: Microstak Tecnologia e Sistemas Ltda, Av. Passos, 115/191, CEP=20051-040,  
Rio de Janeiro, Brasil, Tel: +5521 2596776  
E-mail: basti@dsc.com.br

### Resumen

*La creciente demanda por servicios de comunicación de voz, datos, video, audio, multimedia y/o cualquier combinación de ellos, ha incrementado la demanda por los sistemas de banda ancha. En este contexto, el sistema LMDS (Local Multipoint Distribution Service) y su versión canadiense LMCS (Local Multipoint Communication System), que contemplan anchos de banda mínimos de 1.3 GHz, se han tornado en fuertes candidatos para cubrir esta necesidad. En este artículo, se desarrolla un algoritmo para determinar uno de los aspectos más importantes en el planificación de sistemas LMDS/LMCS y de un sistema inalámbrico móvil en general, como lo es el de la cobertura del sistema. Adicionalmente, se comparan radios de cobertura de los sistemas LMDS/LMCS, obtenidos para climas templados y regiones tropicales y ecuatoriales, de forma analítica y a través del uso del programa NETDimension<sup>TM</sup>. Finalmente, también se analiza la influencia de diversos factores en el radio de cobertura de los sistemas LMDS/LMCS.*

**Palabras Claves:** Sistemas inalámbricos, banda ancha, cobertura, climas

### Abstract

*The growing demand for communication services such as voice, data, video, audio, multimedia y/o any combination of these has increased the demand for broadband systems. In this context, the LMDS system (Local Multipoint Distribution Service) and their Canadian version LMCS (Local Multipoint Communication System), which utilize minimum bandwidths of 1.3 GHz, have become in strong candidates to cover this necessity. In this article, an algorithm is developed to determine one of the most important aspects in the planning of systems LMDS/LMCS and of a wireless system in general: coverage system. Additionally, coverage radiuses in the systems LMDS/LMCS for temperate climates and tropical and equatorial regions in analytical way and through the use of the NETDimension<sup>TM</sup> software are compared. Finally, the influence of diverse factors is also analyzed in coverage radio of the LMDS/LMCS systems.*

**Key words:** Wireless systems, broadband, coverage, climates.



## 1 Introducción

El sistema El sistema LMDS es un sistema inalámbrico fijo, punto-multipunto, que ocupa un ancho de banda, en el espectro original asignado por la FCC, de 1.3 GHz, en las bandas de 27.5 y 31 GHz. Un mayor ancho de banda está siendo analizado en nuevas implementaciones, como por ejemplo, en Brasil (Pérez, 2000).

Inicialmente implementado para atender la demanda de servicio de video, el sistema LMDS también pretende ser usado para la distribución de servicio de Internet a alta velocidad: 1.5 Mbps para residencias y 500 Kbps para oficinas.

Está prevista, la implementación, en breve, de sistemas LMDS de dos vías (bidireccionales) y totalmente digitales, tal como el sistema LMCS (*Local Multipoint Communication Systems*), ya en funcionamiento en Canadá, en la misma banda de frecuencia, que permitirán la transmisión de una gran variedad de servicios tales como, telefonía, datos a alta velocidad, video teleconferencia y video interactivo.

Las principales ventajas del sistema LMDS pueden ser resumidas como, bajos costos de entrada y de desarrollo en comparación con los sistemas de comunicaciones via satélite y los sistemas de fibra óptica (Salloum, 1998), corto tiempo de implementación, rápido retorno de la inversión y crecimiento del sistema en función directa con la demanda (International Engineering Consortium, 1998). Sin embargo, el sistema LMDS es afectado fuertemente por la atenuación por lluvia, que limita considerablemente el radio de cobertura del sistema, tornando crítico el elevado número de estaciones radio base que son necesarias cuando se desea atender áreas de gran extensión.

En este trabajo, se desarrolla un novedoso algoritmo que permite determinar el radio de cobertura de los sistemas LMDS/LMCS a partir de los requerimientos de desempeño, los parámetros de propagación de la región en cuestión y las características del equipamiento. Con este algoritmo, es posible determinar, en cualquier caso y de forma analítica, el radio de celda en los sistemas LMDS/LMCS, así como de la variación de dicho radio en función del clima de la región y de otros factores que serán analizados más adelante.

## 2 Predicción de cobertura en sistemas LMDS/LMCS

Diversos algoritmos han sido propuestos para la predicción del radio de cobertura en sistemas LMDS/LMCS (Gray, 1997-Lee y Chung, 1998-Moghe, 1998). El principio básico de estos algoritmos es la determinación de la relación señal-ruido SNR (*signal-to-noise ratio*) a partir de la elección previa del radio de celda, funcionando como una especie de método de "ensayo y error".

En esta sección, se desarrolla un algoritmo para el cálculo del radio de cobertura en sistemas LMDS/LMCS de forma directa y analítica, a partir de las condiciones indicadas en la sección anterior, incluyendo la relación SNR re-

querida por los sistemas.

### 2.1 Cálculo de Enlace

La ecuación básica del cálculo de enlace de cualquier sistema inalámbrico, relaciona el nivel de señal recibido RSL, con la potencia efectivamente radiada por canal de tráfico ERP y la pérdida de propagación L, a través de:

$$RSL(dBm) = ERP(dBm) - L(dB) \quad (1)$$

donde,

$$ERP(dBm) = P_T(dBm) - L_T(dB) + G_T(dBi) \quad (2)$$

$$RSL(dBm) = P_R(dBm) + L_R(dB) - G_R(dBi) \quad (3)$$

donde,

$P_{T,R}$  es la potencia transmitida (recibida).

$L_{T,R}$  es la pérdida de alimentación en el transmisor (receptor).

$G_{T,R}$  es la ganancia de la antena transmisora (receptora).

De las ecuaciones (1) a la (3), la pérdida de propagación máxima aceptable es dada por:

$$L_{max} = P_T + G_T - L_T + G_R - L_R - P_{Rmin} \quad (4)$$

donde  $P_{Rmin}$  es determinada a partir de los requerimientos de desempeño del sistema.

El desempeño del sistema se expresa en función de la calidad de video mínima, para sistemas analógicos, o de la máxima taxa de error de bit *BER* (*bit error rate*), para sistemas digitales. En ambos casos, el requisito de desempeño puede ser expresado en términos de la relación SNR mínima, definida por (Freeman, 1997):

$$SNR_{min} = P_{Rmin} - F + C \quad (5)$$

$$C = \begin{cases} 130.3 - 10 \log N - Boff, & \text{para sistema analógico} \\ 114 - 10 \log b_n, & \text{para sistema digital} \end{cases} \quad (6)$$

donde F(dB) es la figura de ruido del receptor, N es el número de canales de video, *Boff* es el *backoff* del amplificador del potencia del transmisor y  $b_n$  es el ancho de banda *Nyquist* del sistema digital.

Por lo tanto, de las ecuaciones (4) y (5), la pérdida de propagación máxima aceptable puede ser escrita como:

$$L_{\max} = P_T + G_T - L_T + G_R - L_R - \text{SNR}_{\min} - F + C \quad (7)$$

## 2.2 Pérdida de Propagación

En las bandas de operación de los sistemas LMDS/LMCS, es decir, entre 28 y 31 GHz, la señal transmitida alcanzará al receptor solamente en condiciones de línea de vista o a través de reflexiones en superficies planas, tales como paredes de edificios, repetidores pasivos, etc. En cualquiera caso, el agente de mayor influencia, en estas frecuencias, es la lluvia. También es importante considerar la atenuación causada por los gases atmosféricos. Así, la pérdida total de propagación para los sistemas LMDS/LMCS, puede ser estimada a partir de:

$$L(\text{dB}) = L_{\text{el}}(\text{dB}) + A_{\text{lluv}}(\text{dB}) + A_{\text{g}}(\text{dB}) \quad (8)$$

$$L_{\text{el}}(\text{dB}) = 92.44 + 20 \log d(\text{Km}) + 20 \log f(\text{GHz}) \quad (9)$$

donde  $L_{\text{el}}$  representa la pérdida en el espacio libre,  $A_{\text{lluv}}$  es la atenuación por lluvia,  $A_{\text{g}}$  corresponde a la atenuación debida a la absorción gaseosa,  $d$  es la distancia del enlace y  $f$  es la frecuencia de operación del sistema.

La atenuación debida a los gases atmosféricos es dada por:

$$A_{\text{g}} = \gamma_{\text{g}} d \quad (10)$$

donde  $\gamma_{\text{g}}$  es la atenuación por gases específica, que puede obtenerse a partir del método de predicción dado por ITU-R (Recommendation ITU-R P.676-4, 1999). En las bandas de 27.5 y 31 GHz, esta atenuación es de aproximadamente 0.1 dB/Km.

La atenuación por lluvia usualmente se obtiene a partir del método de predicción de ITU-R (Recommendation ITU-R P.530-8, 1999), y es dada por:

$$A_{\text{lluv}} = 0.12 k R_{0.01}^{\alpha} p^{-\left(0.546 + 0.043 \log p\right)} \frac{d_0 d}{d_0 + d} \quad (11)$$

$$d_0 = 35 e^{-0.015 R_{0.01}}, \quad \text{con } R_{0.01} \leq 100 \text{ mm/h} \quad (12.a)$$

$$d_0 = 35 e^{-1.5}, \quad \text{con } R_{0.01} > 100 \text{ mm/h} \quad (12.b)$$

donde  $k$  e  $\alpha$  son conocidos como parámetros de regresión, dependientes de la frecuencia y la polarización de la señal (Recommendation ITU-R P.838, 1992),  $R_{0.01}$  (mm/h) es la tasa de precipitación puntual excedida durante un 0.01% del tiempo, dada en (Recommendation ITU-R PN.837-1, 1994) para diferentes regiones climáticas, y  $p$  es el porcentaje de tiempo deseado, cuyo complemento  $(1 - p)$  representa la disponibilidad del sistema.

Este método empírico fue desarrollado a partir de bancos de datos obtenidos mediante medidas de propagación y meteorológicas realizadas en clima templados y frecuentemente subestima la atenuación por lluvia en regiones tropicales y ecuatoriales, como las correspondientes a Brasil, sujetas a regímenes de lluvia más intensos. El modelo de ITU-R divide el mundo en 15 regiones climáticas, designando apenas 2 regiones (clima N y clima P) para Brasil.

Una predicción más exacta de la atenuación por lluvia para los climas de Brasil, puede ser determinada a través del uso de la distribución completa de la tasa de precipitación y el método del CETUC (Silva Mello, Pontes y Souza, 2000), desarrollado en base a medidas realizadas en varias regiones climáticas del dicho país. Este modelo considera una efectiva discriminación de los climas de Brasil, designándole 5 regiones climáticas: ecuatorial, semi-árido, tropical marítimo, tropical de altura y sub-tropical. La predicción de la atenuación por lluvia en el modelo del CETUC, es dada por:

$$A_{\text{lluv}} = 5 k R_p^{\left(\alpha - 0.182 - 0.284 \log d\right)} d \quad (13)$$

donde  $R_p$  es la tasa de precipitación excedida durante un  $p$  % del tiempo.

## 2.3 Radio de Célula

El radio de célula en un sistema LMDS, es determinado por el requerimiento de desempeño del sistema, los parámetros de propagación de la región y las características del equipamiento.

El radio de célula  $R = d_{\max}$  se obtiene mediante la solución numérica, de la variable  $d$ , en una de las siguientes ecuaciones:

$$20 \log d + \gamma_{\text{g}} d + k R_{0.01}^{\alpha} p^{-\left(0.546 + 0.043 \log p\right)} \frac{d_0 d}{d_0 + d} = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - \text{SNR} - F + C - 20 \log f - 92.44 \quad (14)$$

obtenida a partir de las ecuaciones (7) a la (11), para el modelo de ITU-R.

$$20 \log d + \gamma_g d + 5k R_p^{(\alpha-0.182-0.284 \log d)} d = P_T + G_T + G_R - L_T - L_R - SNR - F + C - 20 \log f - 92.44 \quad (15)$$

obtenida a partir de (7)-(10) y (13), para o modelo del CETUC.

### 3 Resultados numéricos

Considerando valores típicos de equipamiento, de requerimiento de desempeño y de parámetros de propagación, para los sistemas LMDS/LMCS (Monteiro, 1998-Moghe, 1998), se determina la distancia de cobertura para ambas versiones del sistema (analógica y digital), en la dirección *downstream* (enlace estación base-usuario), en la ciudad de Brasilia, Brasil. Los resultados obtenidos son resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Distancias de cobertura, para los sistemas LMDS y LMCS.

Parámetros de entrada	LMDS	LMCS
P <sub>T</sub> (dBm)	50	50
L <sub>T</sub> (dBm)	1	1
G <sub>T</sub> (dBi)	12	22
SNR (dB)	43	47
Backoff (dB)	7	-
F (dB)	6	8
Número de canales, N	49	-
b <sub>n</sub> (MHz)	-	36
L <sub>R</sub> (dBm)	0	1
G <sub>R</sub> (dBi)	32	38
f (GHz)	28	28
Polarización	Horizontal	Horizontal
p %	0,1	0,1
<u>Región climática:</u>	N	N
ITU-R	Tropical de Altura	Tropical de Altura
CETUC		
R <sub>0,01</sub> (para el modelo de ITU-R)	95	95
R <sub>p</sub> (para el modelo del CETUC)	24,9	24,9
C (dB)	106,44	98,44
P <sub>Rmin</sub> (dBm)	-57,45	-43,44
Radio (ITU-R) (Km)	3,716	3,895
Radio (CETUC) (Km)	2,408	2,519

En la Tabla 1, puede observarse que el desempeño del sistema LMCS, en lo que al criterio de cobertura respecta, es bastante similar al del sistema LMDS. No obstante, el requerimiento de SNR en el primero (LMCS) es mayor, por lo que su calidad también es superior. Adicionalmente, el ancho de banda del canal del sistema LMCS también es mayor que el del sistema LMDS (Monteiro, 1998), lo que posibilita la transmisión de otros servicios, además de la transmisión de video.

Adicionalmente, la Tabla 1 también permite apreciar que el modelo para la predicción de la atenuación por lluvia del CETUC, es aparentemente más pesimista que el modelo de ITU-R, para el tipo de clima de la ciudad de Brasilia (tropical de altura). No obstante, resultados experimentales (Silva Mello, Pontes y Souza, 2000), muestran que el modelo del CETUC es más preciso para regiones tropicales y ecuatoriales, que el modelo de ITU-R, en lo que se a la predicción de la atenuación por lluvia se refiere.

Análogamente, si se comparan los modelos de ITU-R y del CETUC para regiones de clima ecuatorial (por ejemplo, en Belém, Brasil), para el cual el primero considera región climática P, nuevamente se observa que el modelo de ITU-R produce un radio de célula mayor (2,606 Km), que el obtenido con el modelo del CETUC (1,533 Km). Una vez más, mediciones experimentales (Silva Mello, Pontes y Souza, 2000) demuestran que el método del CETUC es más apropiado para regiones climáticas ecuatoriales. Finalmente, en el caso de climas tropicales marítimos, como por ejemplo, el de la ciudad de Rio de Janeiro (Brasil), los radios de cobertura de 2,213 y 2.477 Km, obtenidos usando los métodos de ITU-R y del CETUC, respectivamente, toman el modelo de ITU-R más pesimista para este clima, produciendo un sobredimensionamiento del sistema.

### 4 Factores que afectan la cobertura de los sistemas LMDS/LMCS

Entre los diversos factores que influyen en la distancia de cobertura del los sistemas LMDS/LMCS, serán brevemente analizados en esta sección, la región climática, la disponibilidad del sistema y la polarización de la señal.

La influencia de la región climática es analizada utilizando el mismo conjunto de valores de la Tabla 1, considerando el sistema LMDS, el modelo de ITU-R y variando el valor de R<sub>0,01</sub> de acuerdo a la región climática en estudio (Recommendation ITU-R PN.837-1) Los resultados obtenidos son ilustrados en la Fig. 1, la cual muestra que el mayor radio de cobertura alcanzado por el sistema LMCS (válido también para el sistema LMDS) es logrado para regiones climáticas A (regiones más secas), mientras que el menor radio cobertura es alcanzado para regiones climáticas P (regiones con regímenes de lluvia más severos), observándose una razón de aproximadamente 6, entre dichos radios.

La influencia de la disponibilidad del sistema, es ilus-

trada en la Fig. 2, en donde también fue utilizado el mismo conjunto de valores de la Tabla 1, considerando sistema LMCS.

La Fig. 2, permite observar que el radio de cobertura de los sistemas LMDS/LMCS disminuye drásticamente con el aumento de su disponibilidad, llegándose a obtener una razón de aproximadamente 5 (para el modelo de ITU-R) y 8 (para el modelo del CETUC), entre los radios de cobertura alcanzados por el sistema cuando la disponibilidad del mismo es de 99% y 99.99%, respectivamente.

Finalmente, el impacto de la polarización en la cobertura de los sistema LMDS/LMCS, es mostrado en la Fig 3. Nuevamente fue empleado el mismo conjunto de valores de la Tabla 1, asumiendo sistema LMCS.

Puede observarse, en la Fig. 3, que la distancia de cobertura en los sistemas LMDS/LMCS es mayor cuando se usa polarización vertical. Esto es debido a la forma geométrica y el ángulo de caída de la gota de lluvia, que produce menor atenuación en esta polarización (Silva Mello, 1998).

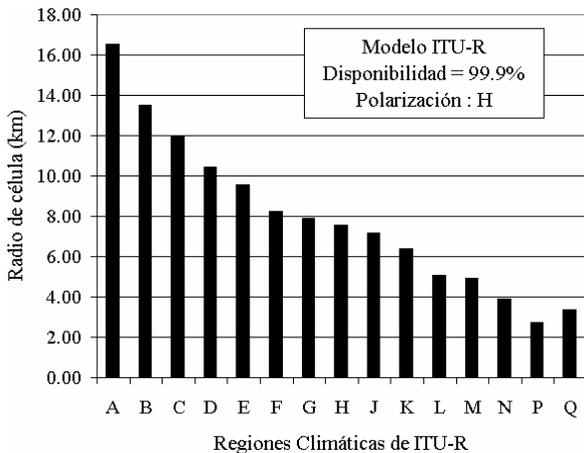


Fig. 1. Variación del radio de celda en LMDS/LMCS, de acuerdo al clima.

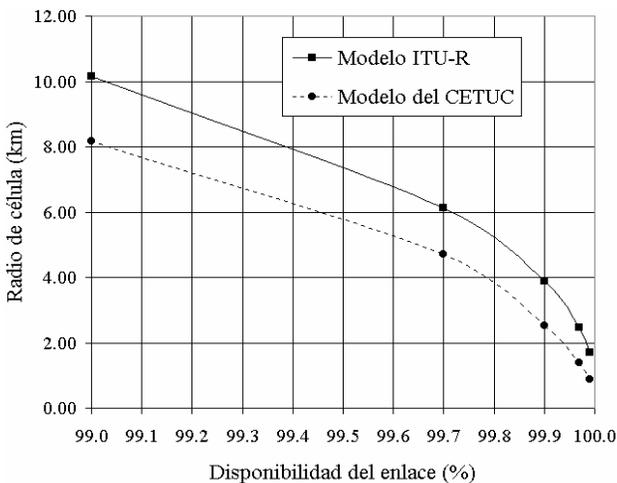


Fig. 2. Influencia de la disponibilidad del enlace del sistema, en la radio de cobertura de sistemas LMCS/LMDS.

### 5 Aplicación en el programa NETDimension™

El algoritmo para el cálculo de cobertura de los sistemas LMDS/LMCS, desarrollado en este trabajo, fue implementado en el programa NETDimension™. El objetivo principal de este programa, es el de ofrecer una herramienta útil, rápida y eficiente para el planeamiento y dimensionamiento de sistemas radio celulares y de radio acceso, inclusive para radioenlaces fijos.

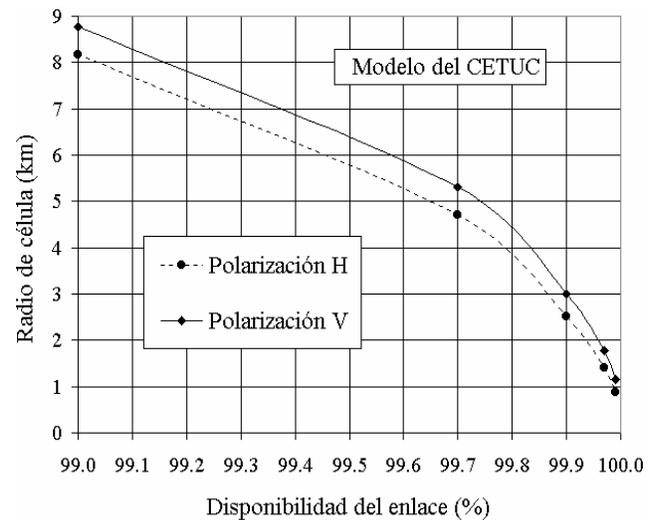


Fig. 3. Efecto de la polarización en el radio de cobertura de los sistemas LMDS/LMCS.

La versión actualmente disponible de este programa, permite planear y dimensionar sistemas radio celulares, PCS, WLL, LMDS y MMDS, así como radioenlaces fijos.

El programa NETDimension™ fue desarrollado para operar en ambiente Windows 95/98, con estándares de interface familiares a los usuarios de este tipo de sistemas. Algunas de las características de este programa son:

- Modelos de cálculo de cobertura en las bandas VHF, UHF e microondas: Espacio libre, difracción, propagación en regiones urbanas, suburbanas y rurales y un modelo de parámetros ajustables por el usuario.
- Modelos de cálculo de cobertura para frecuencias superiores a 10 GHz: Espacio libre, atenuación por lluvia (modelo de ITU-R y del CETUC, incluyendo una opción para que el usuario utilice sus propios valores de tasa de precipitación).
- Diversos escenarios de Brasil tales como, Brasilia, São Paulo, Rio de Janeiro, etc.
- Gerenciador de células.
- Plano de reuso de frecuencia, para los sistemas que usan esta técnica.
- Gerenciamiento del backbone, es decir, interconexión entre las estaciones radio base y conexiones al satélite.
- Módulo para diversos análisis: cobertura, polarización, intensidad de la señal, interferencia, etc.
- Módulo de análisis de medidas, que permite comparar

medidas reales de campo con los valores calculados por el programa.

-Módulo gerenciador de antenas.

### 5.1 Aplicación

A título de ilustración, se muestra el planeamiento de un sistema LMDS, en la ciudad de Brasilia (Brasil), considerando los modelos de atenuación por lluvia de ITU-R y del CETUC.

Como ya fue visto, las regiones climáticas de esta ciudad son designadas como clima N (modelo de ITU-R) y clima tropical de altura (modelo del CETUC).

Es considerado el sistema LMDS y la técnica de reuso de polarización (Roman, 1999-Sari, 1998), que consiste en el uso de polarización alternada o cruzada (vertical y horizontal) en la antena de la estación radio base. El objetivo de esta técnica es minimizar la interferencia en la unidad de usuario, proveniente de otras células, distintas a la que le ofrece cobertura directa. En este ejemplo, es considerado un sistema con sectorización cuádruple, con la misma potencia de transmisión en los 4 sectores, conocido como "sistema no balanceado", es decir, radios de cobertura ligeramente diferentes de acuerdo a la polarización usada, tal como fue discutido en la sección 4.

Una vez escogido el tipo de sistema a ser planificado, es necesario elegir el escenario en donde dicho sistema será implementado. Pueden ser cargados mapas de topografía, morfología y de imagen, tal como ilustra la Fig. 4.

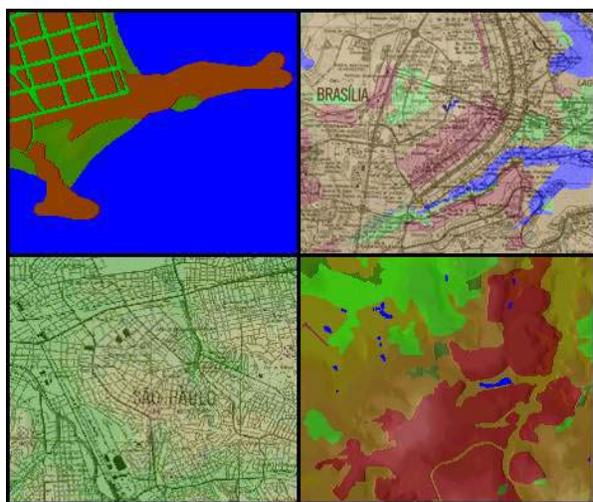


Fig. 4. Escenarios en el programa NETDimension™.

Los parámetros de la estación radio base, así como de las unidades de usuario, pueden ser introducidos, desde el menú *Parameters*, o desde la barra de herramientas, o a través de ventanas como las mostradas en la Fig. 5.

El escenario completo del sistema LMDS planeado en este ejemplo, usando el modelo de ITU-R y antena direccional en la unidad de usuario, es ilustrado en la Fig. 6. Fue

cubierta una área total de aproximadamente 800 Km<sup>2</sup>, usando 33 células.

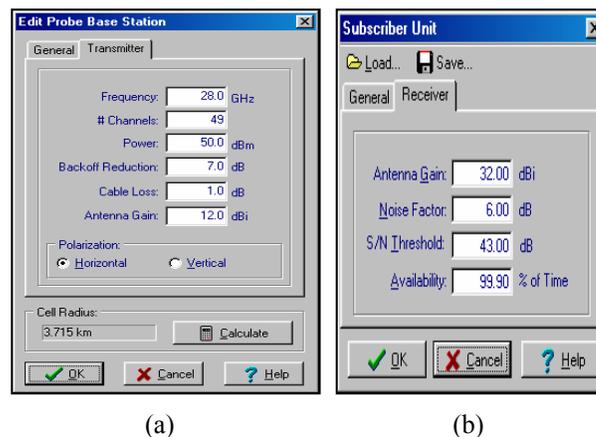


Fig. 5. (a) Datos de la estación radio base; (b) Datos de la unidad de usuario.

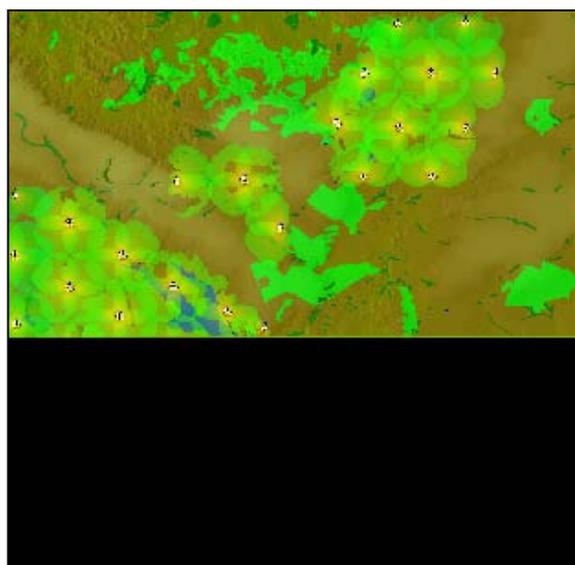


Fig. 6. Sistema LMDS, en Brasilia, usando el modelo de ITU-R.

El mismo sistema, pero ahora utilizando el modelo del CETUC, aparece en la Fig. 7. Nuevamente fue utilizada antena direccional en la unidad de usuario. En este caso, una vez más fue cubierta una área de aproximadamente 800 Km<sup>2</sup>, por medio de 55 células.

De las Figuras 6 y 7, puede ser observado que efectivamente el número de células, y en consecuencia, de estaciones base, necesarias para cubrir una determinada área, en clima tropical de altura, es significativamente mayor (no obstante, más preciso), cuando se utiliza el modelo de atenuación por lluvia del CETUC.

Finalmente, la Fig. 8 muestra uno de los diversos análisis que pueden ser realizados con el programa NETDimension™. En este caso, se trata del análisis de polarización, en el cual se puede apreciar el buen comportamiento del siste-

ma LMDS ante la aplicación de está técnica.

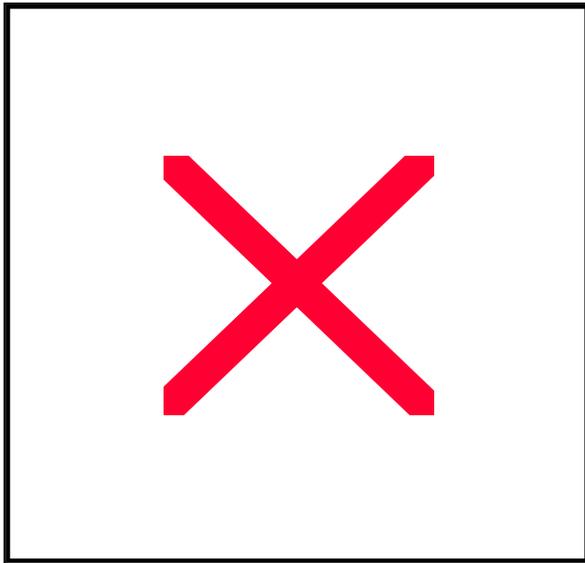


Fig. 7. Sistema LMDS, en Brasilia, usando el modelo del CETUC.

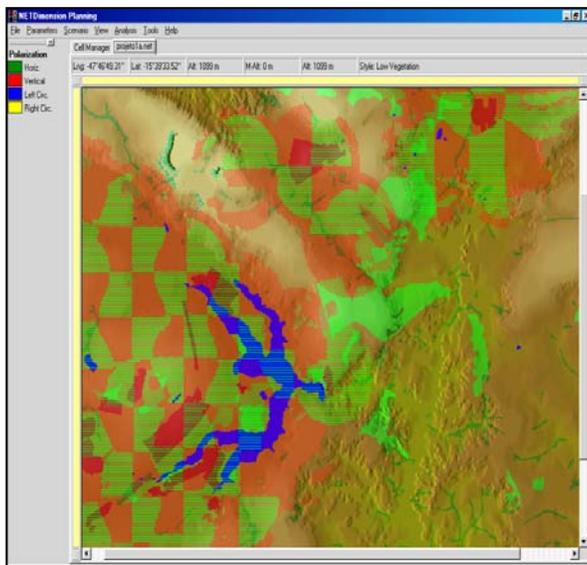


Fig. 8. Análisis de polarización, en el sistema LMDS, utilizando el programa NETDimension™.

## 6 Conclusiones

En este trabajo, fue desarrollado un algoritmo que permite determinar el radio de cobertura de los sistemas LMDS/LMCS, directamente a partir de los requerimientos de desempeño, los parámetros de propagación de la región y las características del equipamiento. Dicho algoritmo fue utilizado para comparar el desempeño de ambos sistemas LMDS/LMCS, quedando de manifiesto la conveniencia de emplear el sistema LMCS digital debido a la posibilidad de transmitir, con una mejor calidad, una gran variedad de

servicios de forma simultánea, y sin ninguna penalización en el radio de cobertura alcanzado por el sistema.

Fueron comparadas distancias de cobertura alcanzadas por el sistema LMDS en diferentes climas, mediante los modelos de predicción de ITU-R y del CETUC, observándose diferencias importantes en el uso de cada uno de ellos y mostrando la necesidad de usar, en lo posible, modelos de atenuación por lluvia que sean ajustados al régimen de lluvia real de la región, para evitar el subdimensionamiento o sobredimensionamiento del sistema.

También fue analizada la influencia de la región climática, la disponibilidad del sistema y de la polarización, en el radio de cobertura del sistema LMDS, arrojando importantes resultados de interés práctico.

Finalmente, se mostró el uso del NETDimension™ en el dimensionamiento y planeamiento de un sistema LMDS, en la ciudad de Brasilia (Brasil).

## 7 Referencias

- Freeman, L. R., 1997, "Radio System Design for Telecommunication", 2<sup>nd</sup> Edition, John Wiley & Sons.
- Gray, Douglas A., 1997, "A Broadband Wireless Access System at 28 GHz", presented in Wireless Communications Conference, Vol. 1, p.p. 1-7.
- International Engineering Consortium, 1998, "Local Multipoint Distribution System (LMDS) Tutorial", Nortel Network, available in <http://www.webproforum.com>
- Lee, C. H. & Chung B. Y., 1998, "Dynamic Modulation Scheme in Consideration of Cell Interference for LMDS", presented in International Conference on Communication Technology, ICCT'98.
- Moghe, S., 1998, "Commonality Between LMDS and MMDS Standards", Broadband Access ADC Telecommunications.
- Monteiro E., Cláudio, 1998, "Cálculo de Cobertura de um Sistema LMDS (AG-TELECOM)".
- Pérez G., Nelson A., 2000, "Cálculo de Cobertura de Sistemas WLL e LMDS", dissertação de Mestrado apresentada na Pontificia Universidade Católica (PUC/Rio).
- Recommendation ITU-R P.530-8, 1999, "Propagation and Prediction Methods Required for the Designs of Terrestrial Line-of-Sight Systems".
- Recommendation ITU-R P.676-4, 1999, "Attenuation by Atmospheric Gases".
- Recommendation ITU-R P.838, 1992, "Specific Attenuation Model for Rain for Use in Prediction Methods".
- Recommendation ITU-R PN.837-1, 1994, "Characteristics for Precipitation for Propagation Modeling".
- Roman, V. I., 1999, "Frequency Reuse and System Deployment in Local Multipoint Distribution Service", IEEE Personal Communications, December 1999, p.p. 20-27.
- Salloum, Hady T., 1998, "Developing Standards for LMDS".
- Sari, Hikmeti, 1998, "Some Design Issues in Local Multipoint Distribution Systems", presented in International

Symposium on Signals, Systems and Electronics, ISSSE.

Silva Mello, L. A., 1998, "Efeitos da Chuva", Notas de aula no curso de Propagação Troposférica, Pós-Graduação, Período 98.1, CETUC-PUC\Rio.

Silva Mello, L. A., Pontes, M. S. e Souza R. S., 2000, "Atenuação por Chuvas em Regiões Tropicais e Equatoriais", Internal Report, CETUC-PUC\Rio, Rio de Janeiro.

Nelson A. Pérez García nació en Caracas, Venezuela, el 8 de Diciembre de 1967. Recibió el título de Ingeniero Electricista y el grado de M.Sc. en Ingeniería Electrica en la Universidad de Los Andes (ULA), Mérida, Venezuela, en 1992, y la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC\Rio), Brasil, en 2000, respectivamente.

Desde 1993 a 1994, fue Profesor de Matemática en la Universidad de Carabobo (UC), Valencia, Venezuela, enseñando geometría analítica. Desde 1994 a 1998 fue Profesor Instructor de Ingeniería Eléctrica en la ULA, enseñando electricidad y magnetismo y teoría electromagnética. Desde 1998 es Profesor Asistente de Ingeniería Eléctrica en la ULA, enseñando teoría electromagnética, propagación y telefonía. Además, desde 1998 es alumno de postgrado en la PUC\Rio, trabajando en investigación sobre sistemas inalámbricos de comunicaciones móviles y desarrollo de programas computacionales para la planificación de WLL,

CDMA, LMDS y Sistemas 3G.

Luiz A. R. da Silva Mello nació en Rio de Janeiro, Brasil, el 1 de Mayo de 1953. Recibió el título de Ingeniero Eléctrico y los grados de M.Sc. y D.Sc. en Ingeniería Eléctrica en la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC\Rio), Brasil, en 1975, 1977 y 1987, respectivamente. Desde 1984 a 1985 fue investigador en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de University College, Londres. Desde 1977 ha sido profesor en el Centro de Telecomunicações de la PUC\Rio donde ha sido el Jefe del Grupo de Investigación en Radio Propagación. Además, es miembro de la Union Internacional de Telecomunicaciones – Radio (UIT-R). Desde 1999 es miembro de la Comisión Brasileña de Radio Comunicaciones de la ANATEL.

Jörg Sebastian Michaelis nació en Hannover, Alemania el 9 de Junio de 1966. Recibió el título de Físico y el grado de M.Sc. en la Universidad de Innsbruck, Austria, en 1991 y el grado de PhD. en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Técnica de Vienna, Austria en 1995. Desde 1995 a 1997 fue investigador en telecomunicaciones en la Pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro (PUC\Rio), Brasil y en 1998 fue profesor invitado en el Departamento de Electrónica Cuántica de la Puc/Rio. Desde 1999 es Gerente de Desarrollo de Programas Computacionales en la DSC Telecom, Brasil.