

Projeto e Estudo de Caso de um Enlace Ponto a Ponto no Regional Mossoró

Pedro Moisés Dantas Neto

UFERSA

Mossoró, Brasil

pedromoisasdantasneto@hotmail.com

Idalmir de Souza Queiroz Júnior

UFERSA

Mossoró, Brasil

idalmir@ufersa.edu.br

Everton Erik Rodrigues do Nascimento

Neoenergia Cosern

Natal, Brasil

everton.nascimento@neoenergia.com

Resumo

O presente trabalho apresenta um estudo de caso que analisa de forma quantitativa e qualitativa o desempenho de um enlace de rádio, ponto a ponto, numa frequência de microondas, na faixa de 7,5GHz licenciada pela Anatel. O projeto desenvolveu através da comparação da predição do enlace real feita por um *software*, chamado *Celplanner*, com valores obtidos por cálculos matemáticos. Os resultados alcançados com a simulação no *Celplanner* e com o equacionamento matemático demonstram a precisão do *software* de predição na caracterização de enlaces de rádio, pela proximidade dos valores reais apresentados no monitoramento do sistema em produção.

Palavras-Chave—Enlace de rádio, *Celplanner*, projeto e estudo de caso.

Abstract

This work presents a case study that quantitatively and qualitatively analyzes the performance of a point-to-point radio link in a microwave frequency, 7.5GHz band licensed by Anatel. The project was developed by comparing the prediction of the real link made by a software, called *Celplanner*, and mathematical calculations. The results obtained with the simulation in *Celplanner* and with the mathematical equation demonstrate the accuracy of the prediction software in the characterization of radio links by the proximity of the real values presented in the real system monitoring.

Keywords—Radio link, *Celplanner*, project and case.

I. INTRODUÇÃO

A necessidade humana de comunicar-se esteve presente em toda a sua história, o homem como ser social sempre desenvolveu formas de comunicação, para curtas ou longas distâncias. As telecomunicações desenvolveram-se dessa busca por soluções para melhorar a eficiência dessa comunicação.

O cientista italiano Guglielmo Marconi foi o primeiro a enviar um sinal de rádio, em 1895, para um receptor a 2,5km, na cidade de Bologna na Itália. Desde então, a tecnologia de rádio enlace tem sido utilizada nas mais variadas áreas, trazendo confiabilidade e rapidez nas comunicações do mundo corporativo como também do cotidiano.

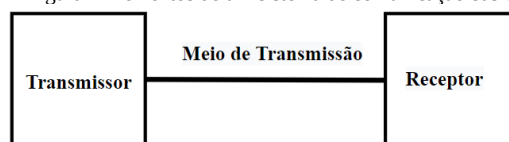
Os principais objetivos desse projeto de diplomação é apresentar um estudo de caso de um enlace real no regional

de Mossoró-RN; traçando um comparativo entre os parâmetros do rádio enlace real, do enlace simulado em um *software* de predição *Celplanner* e com o nível de sinal calculado pela fórmula de Friss.

II. O SISTEMA DE RADIOVISIBILIDADE

O sistema de comunicação é composto por três elementos essenciais: o transmissor, o meio de transmissão e o receptor. Como mostrado na Figura 1.

Figura 1 Elementos de um sistema de comunicação básico



Para que uma informação que sai do transmissor chegue ao receptor, ela precisa passar por um meio de transmissão. Existem diversas tecnologias que podem ser utilizadas como meio físico para comunicação, como por exemplo, fibra óptica, cabo coaxial e o espaço livre.

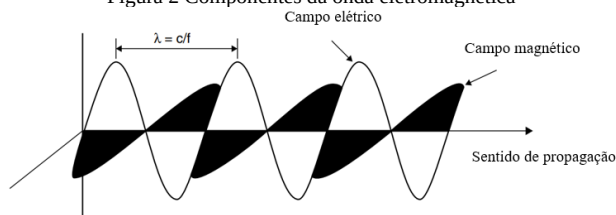
Os sistemas de radiovisibilidade transmitem informações através de ondas eletromagnéticas que se deslocam do transmissor ao receptor através do espaço livre, transferindo energia eletromagnética entre esses dois pontos (FELICE, 2005).

Esses sistemas são muito atrativos e aplicáveis em zonas rurais, regiões não desenvolvidas e inacessíveis, como também em centros urbanos que necessitam de uma rápida expansão das redes de telecomunicações pois o rádio enlace possui um tempo de instalação de curto prazo (LEHPAMER, 2010).

III. PROPAGAÇÃO DE ONDAS ELETROMAGNÉTICAS

A onda eletromagnética é composta por um campo elétrico e um campo magnético perpendiculares entre si e ao sentido de propagação. A Figura 2 mostra as componentes que formam a onda eletromagnética (BARRADAS, 1977).

Figura 2 Componentes da onda eletromagnética



Fonte: Adaptado de (LEHPAMER, 2010)

Uma onda eletromagnética que se propaga de um transmissor ao receptor percorre diferentes caminhos para chegar ao destino, sendo eles: caminho direto, refração das camadas ionosféricas, reflexões do terreno e refração das camadas troposféricas (FELICE, 2005).

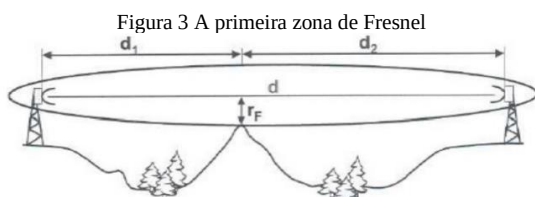
Além dos diferentes caminhos, as ondas eletromagnéticas também interagem com o espaço entre os sites do sistema. Essas interações são chamadas de fenômenos da propagação, definidos por (BARRADAS, 1977):

- Desvanecimento: A onda eletromagnética sofre uma flutuação em sua intensidade, principalmente por interferência de outras ondas.
- Difração: Esse fenômeno ocorre quando a onda incide sobre um anteparo opaco com dimensões bem maiores que o comprimento de onda do sinal.
- Dispersão ou Espalhamento: Semelhante ao fenômeno da difração, o espalhamento ocorre em várias direções na dispersão.
- Reflexão: Ocorre quando a onda incide em superfícies planas tais como solo regular, mares e lagos. A amplitude da onda refletida pode ser tanto maior ou menor que o nível do sinal recebido.
- Refração: Caracteriza-se pela mudança de direção da onda eletromagnética ao incidir de forma oblíqua na superfície de separação entre dois meios distintos.

A. Zona de Fresnel

O conceito de zona de Fresnel deve ser considerado para rádio enlace próximo a superfície terrestre. A zona de Fresnel pode ser definida como a energia do sinal irradiado que é distribuída no espaço no entorno da linha de visada direta (CASTRO, 2010).

No dimensionamento de rádio enlaces, um importante parâmetro a ser calculado é a primeira zona de Fresnel afim de mapear possíveis obstruções no enlace. Na Figura 3 é ilustrada a relação da primeira zona de Fresnel com a linha de visada direta.



Fonte: (PIAU; CARRIJO, 2014)

A primeira zona de Fresnel é descrita a partir da Equação 1.

$$r_f = (\lambda \cdot d_1 \cdot d_2)^{1/2} \quad (1)$$

Em que:

r_f - distância entre a primeira zona de Fresnel e a linha de visada direta;

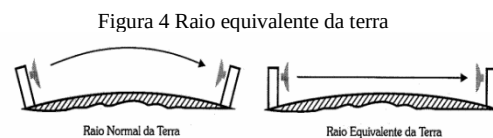
λ - comprimento de onda (m);

d_1 - distância entre a estação A até o ponto a ser calculado a zona de Fresnel;

d_2 - distância entre a estação B até o ponto a ser calculado a zona de Fresnel;

B. Raio da Terra Equivalente

O raio da terra equivalente é uma técnica utilizada para à análise da propagação de ondas em rádio frequências na atmosfera. Esse método não considera a curvatura do feixe através da atmosfera real, conforme apresenta a Figura 4, ocasionada pelas variações do índice de refração do ar com a altura e, com as variações de clima causadas pelas variações de temperatura, pressão e umidade (MIYOSHI; SANCHES, 2010).



Fonte: (PIAU; CARRIJO, 2014)

O raio equivalente da terra considera que o feixe propaga-se na atmosfera em linha reta, aumentando assim, o raio da terra.

As recomendações P 310-10 e P 530-18 do ITU-R (*International Telecommunications Union Radiocommunication Group*) disponibilizam os valores que devem ser considerados para o raio equivalente que é dado pelo fator K. O fator K pode ser calculado conforma a Equação 2.

$$K = 1/[1+RT.(d_n/d_h)] \quad (2)$$

Onde:

RT - raio da terra;

$d_n/d_h = [(d_M/d_h).10^{-6}-(1/RT)];$

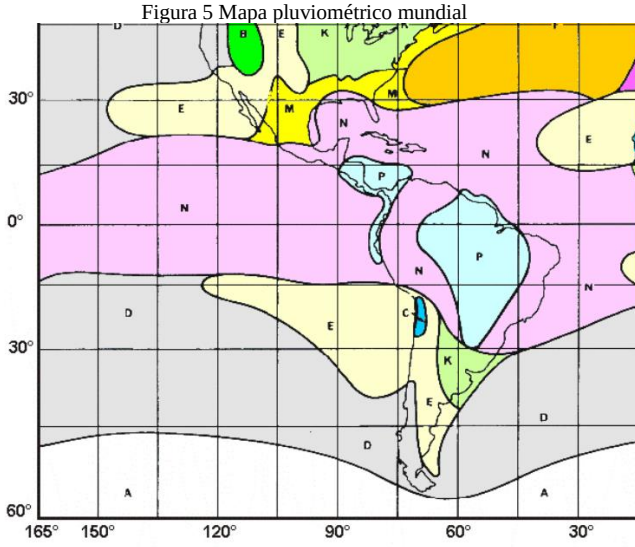
$d_M/d_h = 0,118 \text{ MU/m}$ – valor médio do gradiente de refratividade próximo da superfície terrestre.

Logo, substituindo esses termos na Equação 2, tem-se o valor médio de K, que é igual a $K_{\text{médio}} = 4/3$.

C. Atenuação devido à Chuva

Um outro fator determinante para os projetos de rádio enlaces é a atenuação devido à chuva, sendo essa grandeza diretamente proporcional a frequência. Esse fato é um limitante para enlaces longos que utilizam frequência de operação acima de 10 GHz (MIYOSHI; SANCHES, 2010).

A ITU-R elaborou um mapa com a distribuição da taxa pluviométrica, em âmbito mundial como pode ser visto na Figura 5. O Brasil encontra-se nas regiões N e P, com taxas de 95 mm/h e 145 mm/h, respectivamente, para 0,01% do ano (MIYOSHI; SANCHES, 2010).



Para calcular a atenuação total no rádio enlace, multiplica-se a atenuação unitária (γ_R) pelo comprimento efetivo do enlace D_{EF} . A atenuação unitária pode ser calculada pelas equações 3 e 4, para a polarização vertical e horizontal, respectivamente, em dB/km (MIYOSHI; SANCHES, 2010).

$$\gamma_R = k_V \cdot R_{0,01}^{\alpha_V} \quad (3)$$

$$\gamma_R = k_H \cdot R_{0,01}^{\alpha_H} \quad (4)$$

Sendo,
 γ_R – atenuação específica (dB/km);
 R – taxa pluviométrica para 0,01% do tempo (mm/h);
 k_V e k_H – fatores para correção de frequência.

Os parâmetros utilizados para o cálculo da atenuação específica são tabelados pela ITU-R P 838-3, como apresentado na Tabela 1. Esses valores variam com a frequência em MHz.

Tabela 1 Parâmetros de chuva

f (GHz)	K_H	K_V	α_H	α_V
7	0,002	0,001	1,48	1,47
8	0,004	0,003	1,39	1,38
10	0,012	0,011	1,26	1,22
12	0,024	0,025	1,18	1,12
15	0,045	0,050	1,12	1,04

Fonte: Adaptado de (ITU-R P.838-3, 2005)

Como a intensidade da chuva é mais elevada em pequenas distâncias, faz-se necessário calcular o parâmetro que indica o percentual do enlace em que a chuva é crítica. Esse parâmetro é dado pela Equação 5.

$$R_{ED} = \frac{1}{1 + \frac{d}{d_0}} \quad (5)$$

Para,

$$d_0 = 35e^{-0,015 \cdot R_{0,01}} \quad (6)$$

$$\text{Se } R_{0,01} > 100 \text{ mm/h,} \\ d_0 = 100 \text{ mm/h.}$$

Em que,
 d – distância do link (km);
 $R_{0,01}$ – taxa pluviométrica para 0,01%.

O diâmetro efetivo da célula da chuva, em km, pode ser calculado pela Equação 7,

$$D_{EF} = d \cdot R_{ED} \quad (7)$$

A atenuação total, em dB, devido à chuva é dada pela Equação 8.

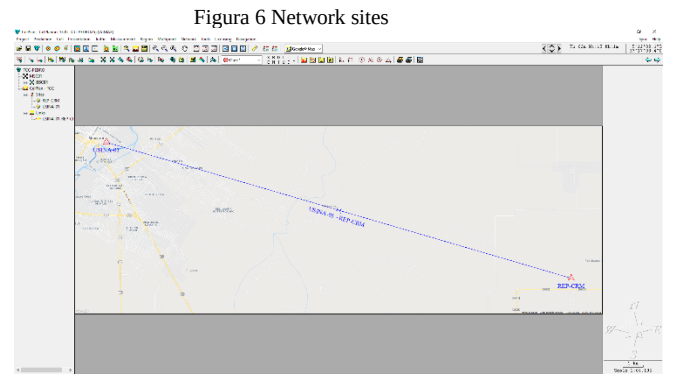
$$A_T = \gamma_R \cdot D_{EF} \quad (8)$$

IV. CELPLANNER

O CelPlanner é uma ferramenta de predição e planejamento de sistemas sem fio, desenvolvido pela empresa CelPlan. O *software* possui uma gama de funcionalidades, contemplando predições de cobertura, tráfego, interferências entre outras.

A. Network

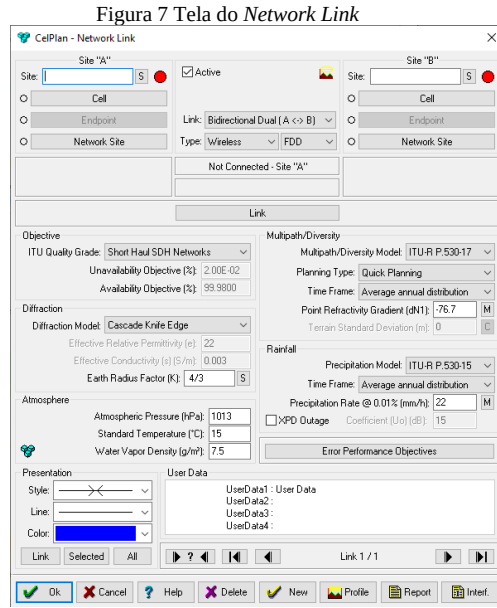
O módulo *Network* do *CelPlanner* possibilita ao projetista criar conexões entre os diversos sites existentes ou até mesmo criar sites (*Network sites*) de rede, definindo esses sites e mostrando na área de projeto. A Figura 6 mostra os *Network sites*.



• Network Link

Na janela *Network Link* são configurados todos os parâmetros de cada enlace. A primeira configuração a ser feita é a definição dos sites que

serão interconectados. A tela do *Network Link* pode ser observada na Figura 7.



Os parâmetros configurados nessa etapa são de grande importância pois caracterizam o sistema. Entre essas características intrínsecas do sistema estão os parâmetros físicos, como atenuação nas diferentes morfologias, os efeitos de propagação e a frequência de utilização.

B. Definição do Parâmetros

Seguindo as recomendações da ITU-R para enlaces com mais de 20 km de distância e com frequências acima de 3 GHz, deve-se ter 100% de liberação do raio de Fresnel para $k = 4/3$ e 60% para $k = 2/3$.

As antenas e equipamentos de rádio utilizadas no projeto (Tabela 2) foram baseadas nas antenas que já estavam em operação. O rádio possui uma potência de transmissão de 26 dBm, as antenas são diretivas com ganhos de 31,1 dBi, na polarização vertical. Na simulação o *software* prediz a altura das antenas.

Tabela 2 Especificações do rádio e da antena

Rádio	
Potência(dBm)	26,0
Frequência(GHz)	7,5
Largura de Banda(MHz)	28
Modulação (QAM)	256
Antena	
Ganho(dBi)	31,1

Na tela de configuração do *Network Link* foi caracterizado o enlace como bidirecional e *wireless*, com o tipo de modulação FDD (*Frequency Division Duplex*), padrão ITU-R. Pelas coordenadas geográficas configuradas nos sites A e B, o *Celplanner* calcula as informações de

inclinação vertical entre os sites e do azimute. Os principais parâmetros do projeto podem ser observados na Figura 8.



O *software* possui mapas e gráficos padronizados pela ITU-R para o ajuste dos parâmetros de precipitação de chuva e do gradiente de refração. Logo, os valores utilizados na simulação foram os ajustados pelo algoritmo do *Celplanner* para a região do sistema.

V. RESULTADOS DO ESTUDO DE CASO

A. Cálculo do sinal recebido pela fórmula de Friss

A fórmula de Friss foi utilizada como modelo matemático para caracterizar o enlace estudado. Através da Equação 9 calcula-se o sinal recebido ponto a ponto (PIAU; CARRIJO, 2014).

$$P_r(\text{dBm}) = P_t(\text{dBm}) + G_t(\text{dBi}) + G_r(\text{dBi}) - A_{\text{espaço livre}} - 2A_{\text{conexão}} - A_{\text{HotStandby}} \quad (9)$$

Sendo:

$P_r(\text{dBm})$ – potência recebida (dBm);

$P_t(\text{dBm})$ – potência transmitida (dBm);

$G_t(\text{dBi})$ – ganho da antena transmissora (dBi);

$G_r(\text{dBi})$ – ganho da antena receptora (dBi);

$A_{\text{espaço livre}}$ – atenuação no espaço livre (dB);

$A_{\text{conexão}}$ – atenuação por conexão do guia de onda (dB);

$A_{\text{HotStandby}}$ – atenuação devido à comutação de circuito no transmissor, principal e reserva (dB).

Para o cálculo da atenuação no espaço livre utiliza-se a Equação 10, em função da frequência em MHz e da distância em km.

$$A_{\text{espaço livre}} = 32,40 + 20\log(f_{\text{MHz}} \times d_{\text{km}}) \quad (10)$$

A tabela 3 apresenta todos os parâmetros utilizados no cálculo do sinal recebido pela fórmula de Friss. Nesse caso, foi adotado atenuação por conexão de 1dB nas duas estações e 1,5 dB por comutação (principal-principal) nos dois sites como feito em Piau e Carrijo (2014).

Tabela 3 Parâmetros do enlace

$P_t(dBm)$	26,0
$G_t(dBi)$	31,1
$G_r(dBi)$	31,1
$A_{conexão}(dB)$	1
$A_{HotStandby}(dB)$	3
f_{MHz}	7500
d_{km}	24
$A_{espaço livre}(dB)$	37,7

Efetuando as devidas operações obtém-se o valor de sinal recebido igual a -54,31 dBm.

B. A simulação do rádio enlace pelo Celplanner

Com as bases de dados de morfologia e topografia do terreno carregadas no *Celplanner*, pode-se analisar as propriedades do terreno na região que delimita o enlace. Essa análise possibilita a avaliação da viabilidade do link. A Figura 9 e 10 apresentam as informações do mapa topográfico e de morfologia da área em que o sistema está localizado.

Figura 9 Mapa morfológico da região do sistema

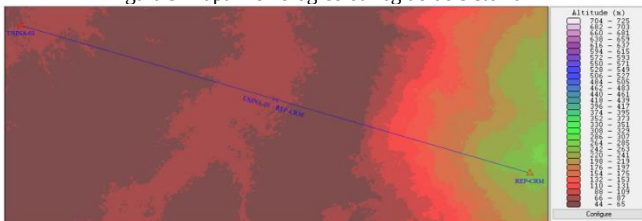
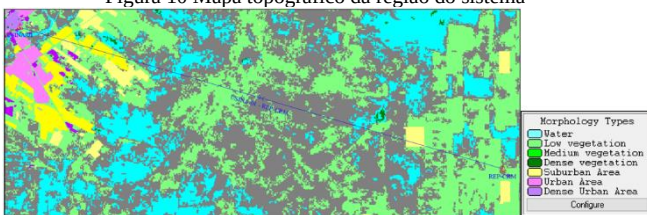


Figura 10 Mapa topográfico da região do sistema



Os mapas de topografia e morfologia foram disponibilizados pela empresa *CelPlan* que é a desenvolvedora do *software* de predição.

Após a definição dos parâmetros apresentados no capítulo anterior, pode-se verificar os perfis do elipsoide de Fresnel para os diferentes valores de K , como mostrado nas Figuras 11 e 12.

Figura 11 Perfil do rádio enlace para $K=4/3$

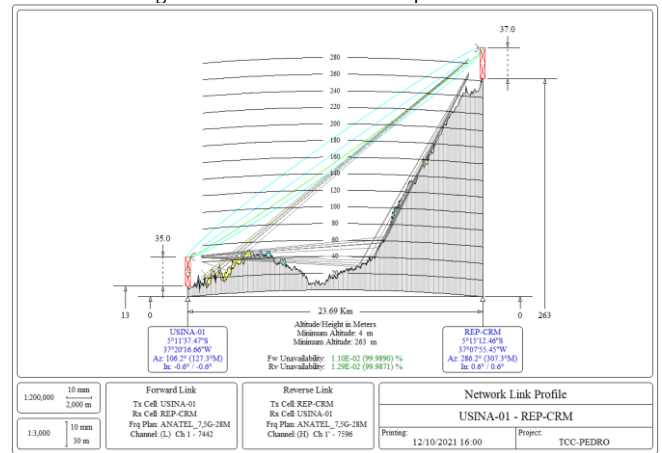
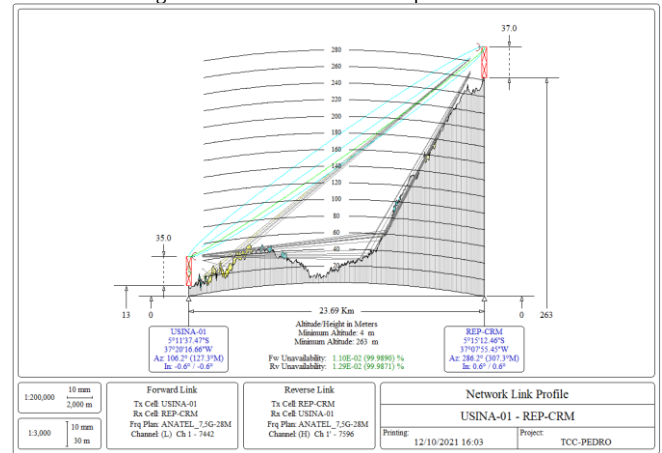


Figura 12 Perfil do rádio enlace para $K=2/3$



Os dados completos das simulações para $K_{méd}$ e K_{min} podem ser observados nos Anexos I e II, constando todos os parâmetros de propagação.

C. O enlace de rádio real

O enlace de rádio faz parte do *backbone* da rede de telecomunicações da Neoenergia Cosern, que liga a UTD (Unidade Territorial da Distribuição) de Mossoró a uma repetidora em Serra do Mel, as estações que compõem esse enlace podem ser observadas nas Figuras 13, 14 e 15. Um enlace que trafega dados utilizados para o monitoramento e operação do sistema elétrico de potência.

Figura 13 Detalhe da antena do enlace



Figura 14 Estação de Usina



Figura 15 Estação de Carmo



O enlace apresenta um desempenho dentro do esperado no projeto, como poder ser observado nas Figuras 16 e 17 com sinal recebido próximo a -58 dBm.

Figura 16 Monitoramento de Usina

Web Local Craft Terminal			
Equipment Type: [AGS-20 - SIAE Microeletronica] - Equipment ID: [REP_USH_DIR_REP_CAB30] - Agent IP: [10.218.65.20] - Bridge Mode: [Provider Edge Bridge]			
Tx ODU A	7442.000 MHz	-24 dBm	
Rx ODU A	7396.000 MHz	-58 dBm	Bandwidth & Modulation
Tx ODU B	7442.000 MHz	Standby	
Rx ODU B	7396.000 MHz	-64 dBm	ETH Capacity
Link 1 [1+1 HS] Tx		Link 1 [1+1 HS] Rx	
28 MHz - 256 QAM		28 MHz - 256 QAM	
179253 Kb/s		179253 Kb/s	

Figura 17 Monitoramento de Carmo

Web Local Craft Terminal			
Equipment Type: [AGS-20 - SIAE Microeletronica] - Equipment ID: [REP_CARHO_DIR_USH] - Agent IP: [10.218.65.21] - Bridge Mode: [Provider Edge Bridge]			
Tx ODU A	7396.000 MHz	-24 dBm	
Rx ODU A	7442.000 MHz	-55 dBm	Bandwidth & Modulation
Tx ODU B	7396.000 MHz	Standby	
Rx ODU B	7442.000 MHz	-61 dBm	ETH Capacity
Link 1 [1+1 HS] Tx		Link 1 [1+1 HS] Rx	
28 MHz - 256 QAM		28 MHz - 256 QAM	
179253 Kb/s		179253 Kb/s	

Os sites que compõe o enlace estão distanciados de aproximadamente 24 km, operando na faixa licenciada de 7,5 GHz, largura de banda de 28 MHz e modulação de 256 QAM. O sistema operado pela equipe de tecnologia operativa atende bem as necessidades de automação da operação, justificando o baixo tráfego de dados, tendo como principal característica a disponibilidade.

Com a caracterização do enlace de rádio pelo *software* de predição e pela fórmula de Friss, verifica-se que o valor do sinal recebido simulado pelo Celplanner é o que mais se aproxima do real, como mostrado na Tabela 4.

Tabela 4 Valores do sinal recebido

Calculado – Friss	-54,31 dBm
Simulado – Celplanner	-57,58 dBm
Real – Monitorado	-58,00 dBm

VI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Numa perspectiva corporativa e de mercado que busca cada vez mais agilidade e eficiência nos processos, a possibilidade de uma entrega de projeto, de análises e estudos de sistemas de telecomunicações de forma ágil e confiável é uma proposta bastante significativa e rentável.

O *software* de predição apresentou-se como uma ótima alternativa para tornar os projetos de rádio enlace mais ágeis. Percebe-se a grande precisão de suas bases de dados, tanto de morfologia quanto de topografia e como esses dados influenciam nos resultados da predição.

No resultado da comparação dos níveis de sinais obtidos entre o *software* e o modelo matemático com o valor monitorado do enlace real, nota-se a grande precisão do programa. Concluindo assim, que o uso de ferramentas de predição para projetos de enlaces de radiovisibilidade, ponto a ponto, é bastante confiável com algoritmos que seguem os padrões da ITU.

REFERÊNCIAS

- [1] FELICE, Fernando. Análise do Desempenho de Enlaces Ponto-a-Ponto Utilizando a Faixa de Frequência não Licenciada de 2,4GHz em Tecnologia SPREAD SPECTRUM. 2005. 169 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.
- [2] LEHPAMER, Harvey. Microwave Transmission Networks. San Diego: McGraw-Hill, 2010.
- [3] BARRADAS, Ovídio. Sistemas em Radiovisibilidade. Livros Técnicos e Científicos. Rio de Janeiro, Brasil. 1977. 693 p.
- [4] CASTRO VASCONCELOS, F. Sistemas de Telecom 2. Uberlândia: Pitágoras. 2010., p.6.
- [5] PIAU, Diego de Brito; CARRIJO, Gilberto Arantes. PROJETO DE DIMENSIONAMENTO DE ENLACE DE RÁDIO. Ciência & Engenharia. Uberlândia, p. 81-90. dez. 2014.
- [6] MIYOSHI, E. M; SANCHES, C. A. Projetos de Sistemas de Rádio. 4. ed. São Paulo: Érica, 2010. PATHLOSS. Pathloss 4. Versão 4. Canadá, 2008. Disponível em: . Acesso em: 02 set. 2021.
- [7] RECOMMENDATION ITU-R P.310-10. Definitions of terms relating to propagation in non-ionized media. 2019. Disponível em: <https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.310-10-201908-I!!PDF-E.pdf>. Acesso em: 04 set. 2021.

- [8] RECOMMENDATION ITU-R P.530-18. Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems.2018. Disponível em:< https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.530-18-202109-I!!PDF-E.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.
- [9] RACOM. Ray. Link calculation. 2018. Disponível em:< <https://www.racom.eu/eng/products/m/ray/app/linkcalc/index.html>>. Acesso em: 24 set. 2021.
- [10] RECOMMENDATION ITU-R P.838-3. Specific attenuation model for rain for use in prediction methods. 2005. Disponível em:< https://www.itu.int/dms_pubrec/itu-r/rec/p/R-REC-P.838-3-200503-I!!PDF-E.pdf>. Acesso em: 25 set. 2021.

ANEXO I – Relatório de Simulação Completo Gerado pelo Celplanner para $K_{\text{méd}} = 4/3$.

[CelPlan DT NRL]
Network Link Report

Site: USINA-01 REP-CRM
Type: Network Site Network Site
Latitude: 5°11'37.4"S 5°15'12.4"S
Longitude: 37°20'16.6"W 37°07'55.4"W
Altitude (m): 13.0 263.0
UserData1: User Data
Datum: World Geodetic System 1984 (WGS 84)

Forward Link		Reverse Link	
Transmission Site:	USINA-01	REP-CRM	
Reception Site:	REP-CRM	USINA-01	
Radio Type:	SHF_07GHz_28MHz		
Modulation Scheme:	256 QAM	256 QAM	
Bandwidth (MHz):	28	28	
Roll-Off Factor:	0.2	0.2	
Reference Temperature (°K):	290	290	
Receiver Noise Figure (dB):	5	5	
Maximum Data Rate (Mbps):	180	180	
Maximum Power (dBm):	24	24	
Required Bit Error Rate:	BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3
Service Threshold (dBm):	-75	-69	-75
Carrier to Noise Ratio (dB):	19.504	25.504	19.504
	25.504		
Rx Equalization Sig Norm Parameter (Kn,M):	0.1	0.1	
	0.1		
Rx Equalization Sig Norm Parameter (Kn,NM):	0.1	0.1	
	0.1		
UserData1:	SIAE	SIAE	
UserData2:	AGS-20	AGS-20	
UserData3:	7.5 GHz	7.5 GHz	
UserData4:	28 MHz	28 MHz	
Frequency Plan:	ANATEL_7,5G-28M	ANATEL_7,5G-28M	
Frequency Spectrum:	Low	High	
Frequency Channel:	Ch 1 - 7442	7442 MHz Ch 1' - 7596	
	7596 MHz		
Diversity Frequency Channel:	Ch 1 - 7442	7442 MHz Ch 1' - 7596	
	7596 MHz		
Center Frequency (MHz):	7442	7596	
Channel Bandwidth (MHz):	28	28	
Transmission Power (dBm):	24	24	
Transmission Adj Power (dBm):	24	24	
Transmission Gains (dB):	0	0	
Transmission System Loss (dB):	0	0	
Transmission Line Loss (dB/100m):	4	4	
Transmission Line Length (m):	50	50	
Transmission Connection Loss (dB):	0.3	0.3	
Transmission Number of Connections:	2	2	
Transmission Additional Loss (dB):	0	0	
Transmission Losses (dB):	2.6	2.6	

Transmission Antenna:	HPD2-77-NSMA		
HPD2-77-NSMA			
Transmission Antenna Size (m):	0.6	0.6	
Transmission Antenna Height (m):	35	37	
Transmission Antenna Gain (dBd):	28.46	28.46	
Transmission Antenna Gain (dBi):	30.6	30.6	
Transmission Power EIRP (dBm):	52	52	
Reception Gains (dB):	0	0	
Reception System Loss (dB):	0	0	
Reception Line Loss (dB/100m):	4	4	
Reception Line Length (m):	50	50	
Reception Connection Loss (dB):	0.3	0.3	
Reception Number of Connections:	2	2	
Reception Additional Loss (dB):	0	0	
Reception Losses (dB):	2.6	2.6	
Reception Antenna:	HPD2-77-NSMA	HPD2-77-NSMA	
Reception Antenna Size (m):	0.6	0.6	
Reception Antenna Height (m):	37	35	
Reception Antenna Gain (dBd):	28.46	28.46	
Reception Antenna Gain (dBi):	30.6	30.6	
Link Polarization:	Vertical	Vertical	
Cross Polarization Factor (dB):	22.424	22.424	
Frequency Diversity			
Diversity Center Frequency (MHz):	7442	7596	
Diversity Channel Separation (MHz):	0	0	
Link Distance (m):	23694.617	23694.617	
Azimuth - True (°):	106.248	286.229	
Azimuth - Magnetic (°):	127.276	307.244	
Transmission Inclination (°):	-0.609	0.609	
Reception Inclination (°):	-0.609	0.609	
ITU Recommendation:	ITU-R P.525-2		
Free Space Distance (m):	23695.957	23695.957	
Center Frequency (MHz):	7442	7596	
Free Space Loss (dB):	137.367	137.545	
Max Fresnel Radius (m):	15.453	15.295	
Max 2nd Fresnel Radius (m):	21.854	21.631	
Earth Radius Factor (K):	4/3		
Effective Radius (m):	8502056.000		
ITU Recommendation:	ITU-R P.526-11		
Diffraction Model:	Cascade Knife Edge		
Diffraction:	No LOS Diffraction	No	LOS
Diffraction			
Diffraction Loss (dB):	0	0	
Clearance Target (%):	60		
Minimum Clearance (m):	24.672	24.676	
Minimum Clearance Point (m):	15.111	15.111	
Terrain Reflection Dispersion (°):	0.5		
Reflection Area 1 (m):	800.9 - 831.1	800.9	
- 831.1			
Reflection Area 2 (m):	952.016	952.016	
Reflection Area 3 (m):	1647.139	1647.139	
Reflection Area 4 (m):	1737.807	1737.807	
Reflection Area 5 (m):	3067.607	3067.607	
Reflection Area 6 (m):	13645.562	13645.562	
Reflection Area 7 (m):	13796.675	13796.675	
Reflection Area 8 (m):	14310.461	14310.461	
Reflection Area 9 (m):	14763.802	14763.802	
Reflection Area 10 (m):	14884.7 - 14914.9		
14884.7 - 14914.9			
Reflection Area 11 (m):	15398.479	15398.479	
Reflection Area 12 (m):	15549.6 - 15610		
15549.6 - 15610			
Reflection Area 13 (m):	15730.93	15730.93	
Reflection Area 14 (m):	15821.598	15821.598	
Reflection Area 15 (m):	15882.043	15882.043	
Reflection Area 16 (m):	15972.711	15972.711	

						BER 10-3 BER 10-6 BER 10-3 BER 10-6					
ITU Recommendation:		ITU-R P.676-8				Unavailability due to Rain (%):		8.52E-04	3.78E-03	1.21E-03	
Atmospheric Pressure (hPa):		1013		1013		5.08E-03					
Standard Temperature (°C):		35		35		Unavailability due to Rain (s/Year):			268.623	1190.974	
Water Vapor Density (g/m³):		7.5		7.5		382.906 1601.707					
Atmospheric Gases Loss (dB):		0.217		0.22							
						BER 10-3 BER 10-6 BER 10-3 BER 10-6					
Total Path Loss (dB):		137.584		137.766		Unavailability due to Fading (%):		9.65E-04	7.19E-03	1.03E-03	
						7.84E-03					
Reception Signal Level (dBm):		-57.584		-57.766		Unavailability due to Rain (%):		8.52E-04	3.78E-03	1.21E-03	
						5.08E-03					
BER 10-3 BER 10-6 BER 10-3 BER 10-6						Total Unavailability (%):		1.82E-03	1.10E-02	2.25E-03	
Service Threshold (dBm):		-75		-69		1.29E-02					
Link Gross Margin (dB):		17.416		11.416 17.234		Unavailability Objective (%):		2.00E-02	2.00E-02	2.00E-02	
11.234						2.00E-02					
ITU Recommendation:		ITU-R F.1703-0 / ITU-T G.827				Unavailability due to Fading (s/Year):			304.305	2266.972	
Objective ITU Quality Grade:		Short Haul SDH Networks				325.382 2471.787					
Unavailability Objective (%):		2.00E-02				Unavailability due to Rain (s/Year):			268.623	1190.974	
Availability Objective (%):		99.9800				382.906 1601.707					
						Total Unavailability (s/Year):		572.926	3457.861	708.285	
						4073.368					
ITU Recommendation:		ITU-R F.1668-1 / ITU-T G.826				Unavailability Objective (s/Year):			6307.2	6307.2	
Error Performance Objective BBER (%):		8.00E-06				6307.2 6307.2					
8.00E-06											
Error Performance Objective BBER (s/Month):		0.21				Total Availability (%):		99.9982	99.9890	99.9978	
0.21						99.9871					
SESR ESR SESR ESR						Availability Objective (%):		99.9800	99.9800	99.9800	
Error Performance Objective (%):		1.60E-04		1.28E-02		99.9800					
1.60E-04 1.28E-02											
Error Performance Objective (s/Month):		4.205		336.384 4.205		* PASS * * PASS * * PASS * * PASS *					
336.384											
ITU Recommendation:		ITU-R F.1668-1 / ITU-T G.828				ACM Availability (%)		BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6
Error Performance Objective BBER (%):		8.00E-06				10-6					
8.00E-06						2048 QAM, 235 Mbps:		99.9990	94.4097	99.9987	
Error Performance Objective BBER (s/Month):		0.21				92.9318					
0.21						1024 QAM, 224 Mbps:		99.8492	99.6955	99.8233	
SESR ESR SESR ESR						99.6397					
Error Performance Objective (%):		1.60E-04		3.20E-03		512 QAM, 201 Mbps: 99.9944		99.9760	99.9933	99.9721	
1.60E-04 3.20E-03						256 QAM, 180 Mbps: 99.9982		99.9890	99.9978	99.9871	
Error Performance Objective (s/Month):		4.205		84.096 4.205		128 QAM, 157 Mbps: 99.9986		99.9958	99.9982	99.9950	
84.096						64 QAM, 132 Mbps: 99.9993		99.9982	99.9991	99.9978	
						32 QAM, 105 Mbps: 99.9997		99.9991	99.9995	99.9989	
Multipath Model:		ITU-R P.530-17				16 QAM, 84 Mbps: 99.9999		99.9997	99.9998	99.9996	
Multipath Planning Type:		Quick Planning				4 QAM, 42 Mbps: 100.0000		99.9999	100.0000	99.9999	
Multipath Time Frame:		Average annual distribution									
ITU Recommendation:		ITU-R P.453-9				Network Link ACM Report					
Point Refractivity Gradient (dn1):		-151.734				Forward Link					
Geoclimatic Factor:		6.45E-05									
Multipath Occurrence Factor (%):		2.24E-01									
2.28E-01						Modulation		Throughput	Margin		
						Availability			Link		
Precipitation Model:		ITU-R P.530-15				Result			(%)		
ITU Recommendation:		ITU-R P.837-5 / ITU-R P.841-4									
Precipitation Time Frame:		Average annual distribution						BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6
Precipitation Rate @ 0.01% (mm/h):		63.5				10-3 BER 10-6					
ITU Recommendation:		ITU-R P.838-3				2048 QAM		235	19.716	1.916	99.9990
Specific Attenuation (dB/km):		0.830205		0.89495		94.4097		* PASS *	* FAIL *		
Rainfall Attenuation (dB):		8.198		8.886		1024 QAM		224	5.916	4.916	99.8492
						99.6955		* FAIL *	* FAIL *		
BER 10-3 BER 10-6 BER 10-3 BER 10-6						512 QAM 201		13.416	9.416	99.9944	99.9760
Fading Outage (%):		9.62E-04	7.19E-03	1.03E-03	7.83E-03	PASS *		* FAIL *			*
Selective Fading Outage (%):		3.39E-06	3.39E-06	3.43E-06		256 QAM 180		17.416	11.416	99.9982	99.9890
3.43E-06						PASS *		* PASS *			*
Diversity Outage (%):		1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02	128 QAM 157		18.416	14.416	99.9986	99.9958
Composite Fading Outage with Diversity (%):					9.65E-04	PASS *		* PASS *			*
7.19E-03 1.03E-03 7.84E-03						64 QAM 132		21.416	17.416	99.9993	99.9982
						PASS *		* PASS *			*
Fading Outage (s/Month):		25.27	188.825	27.025		32 QAM 105		24.416	20.416	99.9997	99.9991
205.892						PASS *		* PASS *			*
Selective Fading Outage (s/Month):			0.089	0.089	0.09	16 QAM 84		28.916	24.916	99.9999	99.9997
0.09						PASS *		* PASS *			*
Diversity Outage (s/Month):		2628000.000		2628000.000		4 QAM 42		34.916	30.916	100.0000	99.9999
2628000.000						PASS *		* PASS *			*
Composite Fading Outage with Diversity (s/Month):			25.359			Reverse Link					
188.914 27.115 205.982											

Modulation	Throughput	Margin				
Availability (Mbps)	(dB)	Link (%)				
Result	BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6	BER	
10-3	BER 10-6					
2048 QAM	235	19.534	1.734	99.9987		
92.9318	* PASS *	* FAIL *				
1024 QAM	224	5.734	4.734	99.8233		
99.6397	* FAIL *	* FAIL *				
512 QAM	201	13.234	9.234	99.9933	99.9721	*
PASS *	* FAIL *					
256 QAM	180	17.234	11.234	99.9978	99.9871	*
PASS *	* PASS *					
128 QAM	157	18.234	14.234	99.9982	99.9950	*
PASS *	* PASS *					
64 QAM	132	21.234	17.234	99.9991	99.9978	*
PASS *	* PASS *					
32 QAM	105	24.234	20.234	99.9995	99.9989	*
PASS *	* PASS *					
16 QAM	84	28.734	24.734	99.9998	99.9996	*
PASS *	* PASS *					
4 QAM	42	34.734	30.734	100.0000	99.9999	*
PASS *	* PASS *					

ANEXO II – Relatório de Simulação Completo Gerado pelo Celplanner para $K_{\text{méd}} = 2/3$.

[CelPlan DT NRL]

Network Link Report

Site:	USINA-01	REP-CRM
Type:	Network Site	Network Site
Latitude:	5°11'37.4"S	5°15'12.4"S
Longitude:	37°20'16.6"W	37°07'55.4"W
Altitude (m):	13.0	263.0

UserData1: User Data

Datum: World Geodetic System 1984 (WGS 84)

Forward Link	Reverse Link				
Transmission Site:	USINA-01	REP-CRM			
Reception Site:	REP-CRM	USINA-01			
Radio Type:	SHF_07GHz_28MHz	SHF_07GHz_28MHz			
Modulation Scheme:	256 QAM	256 QAM			
Bandwidth (MHz):	28	28			
Roll-Off Factor:	0.2	0.2			
Reference Temperature (°K):	290	290			
Receiver Noise Figure (dB):	5	5			
Maximum Data Rate (Mbps):	180	180			
Maximum Power (dBm):	24	24			
Required Bit Error Rate:	BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER	10-6
Service Threshold (dBm):	-75	-69	-75	-69	
Carrier to Noise Ratio (dB):	19.504	25.504	19.504		
	25.504				
Rx Equalization Sig Norm Parameter (Kn,M):	0.1	0.1	0.1	0.1	
	0.1				
Rx Equalization Sig Norm Parameter (Kn,NM):	0.1	0.1	0.1	0.1	
	0.1				
UserData1:	SIAE	SIAE			
UserData2:	AGS-20	AGS-20			
UserData3:	7.5 GHz	7.5 GHz			
UserData4:	28 MHz	28 MHz			
Frequency Plan:	ANATEL_7,5G-28M	ANATEL_7,5G-28M			
Frequency Spectrum:	Low	High			
Frequency Channel:	Ch 1 - 7442	7442 MHz Ch 1' - 7596			
	7596 MHz				
Diversity Frequency Channel:	Ch 1 - 7442	7442 MHz Ch 1' - 7596			
	7596 MHz				

Center Frequency (MHz):	7442	7596
Channel Bandwidth (MHz):	28	28
Transmission Power (dBm):	24	24
Transmission Adj Power (dBm):	24	24
Transmission Gains (dB):	0	0
Transmission System Loss (dB):	0	0
Transmission Line Loss (dB/100m):	4	4
Transmission Line Length (m):	50	50
Transmission Connection Loss (dB):	0.3	0.3
Transmission Number of Connections:	2	2
Transmission Additional Loss (dB):	0	0
Transmission Losses (dB):	2.6	2.6
Transmission Antenna:	HPD2-77-NSMA	
	HPD2-77-NSMA	
Transmission Antenna Size (m):	0.6	0.6
Transmission Antenna Height (m):	35	37
Transmission Antenna Gain (dBd):	28.46	28.46
Transmission Antenna Gain (dBi):	30.6	30.6
Transmission Power EIRP (dBm):	52	52
Reception Gains (dB):	0	
Reception System Loss (dB):	0	0
Reception Line Loss (dB/100m):	4	4
Reception Line Length (m):	50	50
Reception Connection Loss (dB):	0.3	0.3
Reception Number of Connections:	2	2
Reception Additional Loss (dB):	0	0
Reception Losses (dB):	2.6	2.6
Reception Antenna:	HPD2-77-NSMA	HPD2-77-NSMA
Reception Antenna Size (m):	0.6	0.6
Reception Antenna Height (m):	37	35
Reception Antenna Gain (dBd):	28.46	28.46
Reception Antenna Gain (dBi):	30.6	30.6
Link Polarization:	Vertical	Vertical
Cross Polarization Factor (dB):	22.424	22.424
Frequency Diversity		
Diversity Center Frequency (MHz):	7442	7596
Diversity Channel Separation (MHz):	0	0
Link Distance (m):	23694.617	23694.617
Azimuth - True (°):	106.248	286.229
Azimuth - Magnetic (°):	127.276	307.244
Transmission Inclination (°):	-0.609	0.609
Reception Inclination (°):	-0.609	0.609
ITU Recommendation:	ITU-R P.525-2	
Free Space Distance (m):	23695.957	23695.957
Center Frequency (MHz):	7442	7596
Free Space Loss (dB):	137.367	137.545
Max Fresnel Radius (m):	15.453	15.295
Max 2nd Fresnel Radius (m):	21.854	21.631
Earth Radius Factor (K):	2/3	
Effective Radius (m):	4247839.500	
ITU Recommendation:	ITU-R P.526-11	
Diffraction Model:	Cascade Knife Edge	
Diffraction:	No LOS Diffraction	No LOS
Diffraction		
Diffraction Loss (dB):	0	
Clearance Target (%):	60	
Minimum Clearance (m):	24.65	24.655
Minimum Clearance Point (m):	15.111	15.111
Terrain Reflection Dispersion (°):	0.5	
Reflection Area 1 (m):	800.9 - 831.1	800.9
Reflection Area 2 (m):	952.016	952.016
Reflection Area 3 (m):	1647.139	1647.139
Reflection Area 4 (m):	1737.807	1737.807

Reflection Area 5 (m):	3067.607	3067.607
Reflection Area 6 (m):	13645.562	13645.562
Reflection Area 7 (m):	13796.675	13796.675
Reflection Area 8 (m):	14310.461	14310.461
Reflection Area 9 (m):	14763.802	14763.802
Reflection Area 10 (m):	14884.7 - 14914.9	
Reflection Area 11 (m):	15398.479	15398.479
Reflection Area 12 (m):	15549.6 - 15610	
Reflection Area 13 (m):	15730.93	15730.93
Reflection Area 14 (m):	15821.598	15821.598
Reflection Area 15 (m):	15882.043	15882.043
Reflection Area 16 (m):	15972.711	15972.711

ITU Recommendation:	ITU-R P.676-8	
Atmospheric Pressure (hPa):	1013	1013
Standard Temperature (°C):	35	35
Water Vapor Density (g/m³):	7.5	7.5
Atmospheric Gases Loss (dB):	0.217	0.22

Total Path Loss (dB):	137.584	137.766
Reception Signal Level (dBm):	-57.584	-57.766

BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6	
Service Threshold (dBm):	-75	-69	-75	-69
Link Gross Margin (dB):	17.416	11.416	17.234	
	11.234			

ITU Recommendation:	ITU-R F.1703-0 / ITU-T G.827
Objective ITU Quality Grade:	Short Haul SDH Networks
Unavailability Objective (%):	2.00E-02
Availability Objective (%):	99.9800

ITU Recommendation:	ITU-R F.1668-1 / ITU-T G.826				
Error Performance Objective BBER (%):	8.00E-06				
Error Performance Objective BBER (s/Month):	0.21				
	SESR	ESR	SESR	ESR	
Error Performance Objective (%):	1.60E-04		1.28E-02		
Error Performance Objective (s/Month):	4.205		336.384	4.205	

ITU Recommendation:	ITU-R F.1668-1 / ITU-T G.828				
Error Performance Objective BBER (%):	8.00E-06				
Error Performance Objective BBER (s/Month):	0.21				
	SESR	ESR	SESR	ESR	
Error Performance Objective (%):	1.60E-04		3.20E-03		
Error Performance Objective (s/Month):	4.205		84.096		4.205
	84.096				

Multipath Model:	ITU-R P.530-17
Multipath Planning Type:	Quick Planning
Multipath Time Frame:	Average annual distribution
ITU Recommendation:	ITU-R P.453-9
Point Refractivity Gradient (dN1):	-151.734
Geoclimatic Factor:	6.45E-05
Multipath Occurrence Factor (%):	2.24E-01
	2.28E-01

Precipitation Model:	ITU-R P.530-15	
ITU Recommendation:	ITU-R P.837-5 / ITU-R P.841-4	
Precipitation Time Frame:	Average annual distribution	
Precipitation Rate @ 0.01% (mm/h):	63.5	
ITU Recommendation:	ITU-R P.838-3	
Specific Attenuation (dB/km):	0.830205	0.89495
Rainfall Attenuation (dB):	8.198	8.886

BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6
Fading Outage (%):	9.62E-04	7.19E-03	1.03E-03
			7.83E-03

Selective Fading Outage (%):	3.39E-06	3.39E-06	3.43E-06
	3.43E-06		
Diversity Outage (%):	1.00E+02	1.00E+02	1.00E+02
Composite Fading Outage with Diversity (%):	7.19E-03	1.03E-03	7.84E-03
Fading Outage (s/Month):	25.27	188.825	27.025
	205.892		
Selective Fading Outage (s/Month):	0.09	0.089	0.089
	0.09		0.09
Diversity Outage (s/Month):	2628000.000	2628000.000	2628000.000
Composite Fading Outage with Diversity (s/Month):	188.914	27.115	205.982

BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6
Unavailability due to Rain (%):	8.52E-04	3.78E-03	1.21E-03
	5.08E-03		
Unavailability due to Rain (s/Year):	382.906	1601.707	
		268.623	1190.974

BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6
Unavailability due to Fading (%):	9.65E-04	7.19E-03	1.03E-03
	7.84E-03		
Unavailability due to Rain (%):	8.52E-04	3.78E-03	1.21E-03
	5.08E-03		
Total Unavailability (%):	1.82E-03	1.10E-02	2.25E-03
	1.29E-02		
Unavailability Objective (%):	2.00E-02	2.00E-02	2.00E-02
	2.00E-02		

Unavailability due to Fading (s/Year):	325.382	2471.787	
		304.305	2266.972
Unavailability due to Rain (s/Year):	382.906	1601.707	
		268.623	1190.974
Total Unavailability (s/Year):	4073.368	572.926	3457.861
			708.285
Unavailability Objective (s/Year):	6307.2	6307.2	
	6307.2		
Total Availability (%):	99.9871	99.9982	99.9890
	99.9871		99.9978
Availability Objective (%):	99.9800	99.9800	99.9800
	99.9800		

* PASS * * PASS * * PASS * * PASS *

ACM Availability (%)	BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6
2048 QAM, 235 Mbps:	99.9990	94.4097	99.9987	
	92.9318			
1024 QAM, 224 Mbps:	99.8492	99.6955	99.8233	
	99.6397			
512 QAM, 201 Mbps:	99.9944	99.9760	99.9933	99.9721
256 QAM, 180 Mbps:	99.9982	99.9890	99.9978	99.9871
128 QAM, 157 Mbps:	99.9986	99.9958	99.9982	99.9950
64 QAM, 132 Mbps:	99.9993	99.9982	99.9991	99.9978
32 QAM, 105 Mbps:	99.9997	99.9991	99.9995	99.9989
16 QAM, 84 Mbps:	99.9999	99.9997	99.9998	99.9996
4 QAM, 42 Mbps:	100.0000	99.9999	100.0000	99.9999

Network Link ACM Report

Forward Link

Modulation	Throughput	Margin
Availability		Link
(Mbps)	(dB)	(%)
Result		
BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3
BER 10-6		BER 10-6
10-3	BER 10-6	
2048 QAM	235	19.716
	* PASS *	* FAIL *
1024 QAM	224	5.916
	* FAIL *	* FAIL *
512 QAM	201	13.416
	9.416	99.9944
PASS *	* FAIL *	99.9760
		*

256 QAM	180	17.416	11.416	99.9982	99.9890	*
PASS *	* PASS *					
128 QAM	157	18.416	14.416	99.9986	99.9958	*
PASS *	* PASS *					
64 QAM	132	21.416	17.416	99.9993	99.9982	*
PASS *	* PASS *					
32 QAM	105	24.416	20.416	99.9997	99.9991	*
PASS *	* PASS *					
16 QAM	84	28.916	24.916	99.9999	99.9997	*
PASS *	* PASS *					
4 QAM	42	34.916	30.916	100.0000	99.9999	*
PASS *	* PASS *					

Reverse Link

Modulation	Availability (Mbps) Result	Throughput (dB)		Margin Link (%)		BER
		BER 10-3	BER 10-6	BER 10-3	BER 10-6	
10-3	BER 10-6					
2048 QAM	235	19.534	1.734	99.9987		
	92.9318	* PASS *	* FAIL *			
1024 QAM	224	5.734	4.734	99.8233		
	99.6397	* FAIL *	* FAIL *			
512 QAM	201	13.234	9.234	99.9933	99.9721	*
PASS *	* FAIL *					
256 QAM	180	17.234	11.234	99.9978	99.9871	*
PASS *	* PASS *					
128 QAM	157	18.234	14.234	99.9982	99.9950	*
PASS *	* PASS *					
64 QAM	132	21.234	17.234	99.9991	99.9978	*
PASS *	* PASS *					
32 QAM	105	24.234	20.234	99.9995	99.9989	*
PASS *	* PASS *					
16 QAM	84	28.734	24.734	99.9998	99.9996	*
PASS *	* PASS *					
4 QAM	42	34.734	30.734	100.0000	99.9999	*
PASS *	* PASS					