

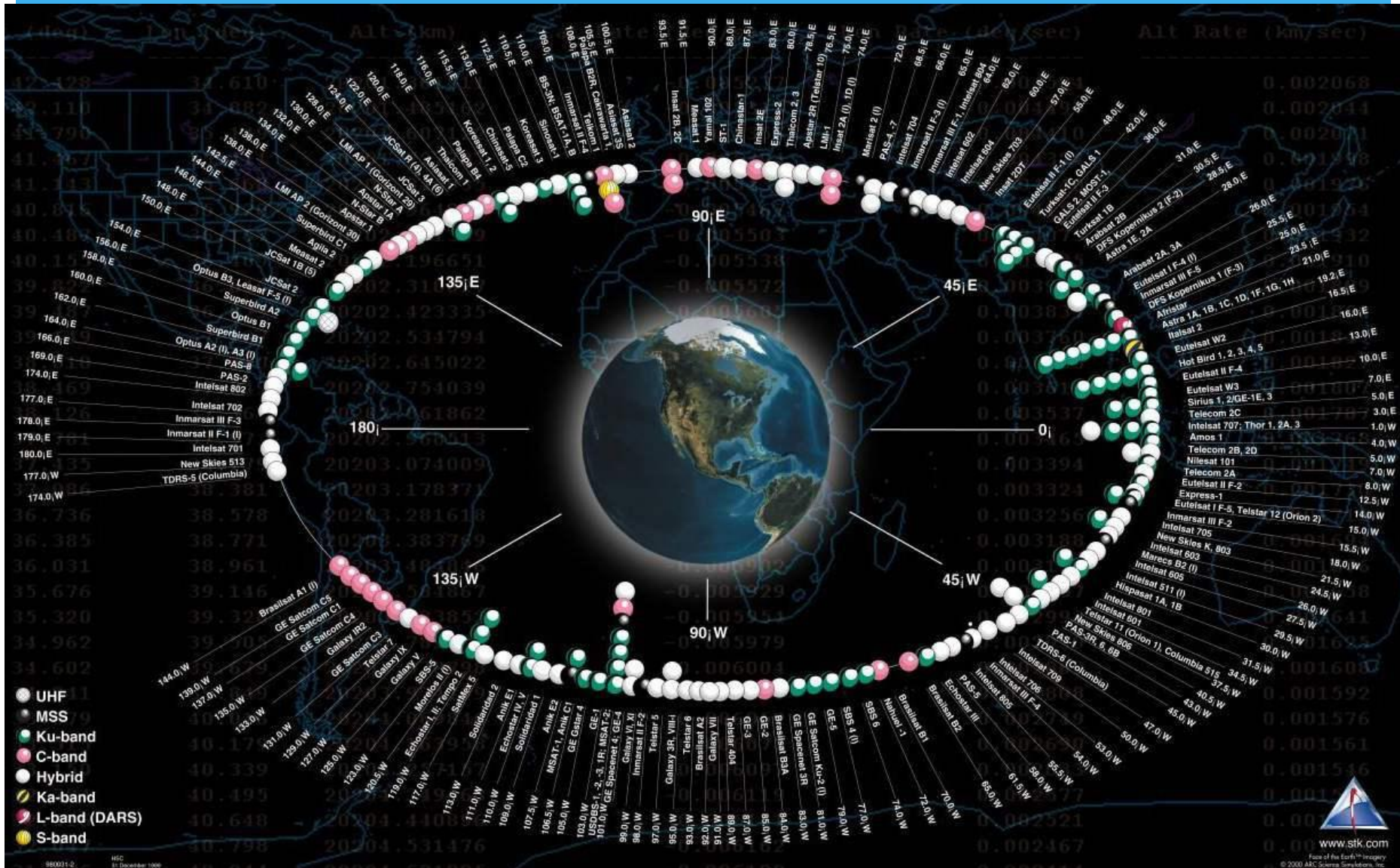
Atenuação Devido a Chuvas nas Bandas Ka, Ku e X

Agostinho Linhares – RFCEE/SRF
ANATEL

Agenda

- * Arco Geoestacionário
- * Comunicação via Satélite como Backbone
- * Faixas de Frequências para Radiocomunicações Espaciais
- * Separação Orbital
- * Opções para o PNBL
- * Transmissão Terra-Espaço
- * Efeitos das Chuvas em Altas Frequências
- * Equacionamento
- * Mapas de Chuvas
- * Mitigação do Efeito da Chuva
- * Resultados Práticos
- * Algumas Referências
- * Considerações Finais

Arco Geoestacionário

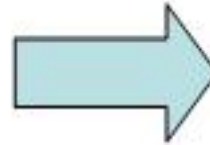


Comunicação via Satélite para Backbone de Prestadores de Banda Larga

Estações Gateways vs. Estações Regionais

- * **Estação Gateway**

- * Maior potência e antena mais robusta
- * Maior disponibilidade
- * Redundância de estações



- * **Estação Regional**

- * Projeto de acordo com a região
- * Comunicação terrestre para aumentar disponibilidade



Faixas de Frequências para Radiocomunicações Espaciais

BANDA	FREQUÊNCIAS APROXIMADAS DE DESCIDA E SUBIDA (GHz)	LARGURA DE FAIXA (MHz)	CAPACIDADE (Gbps)
C	4 e 6	600	~1 (*)
Ku	11 e 14	750	~1
X	7 e 8	500	-
Ka	20 e 30	2.500	55

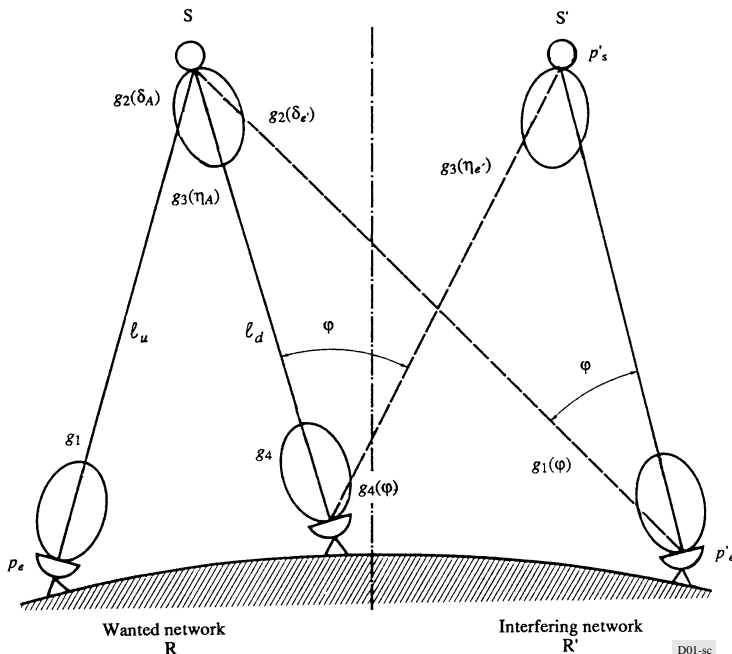
(*) A banda C é utilizada, também, para transmissão de canais analógicos de TV

Separação Orbital

Rec. S.738-0 - Procedure for determining if coordination is required between geostationary-satellite networks sharing the same frequency bands

FIGURE 1a

Geometry - Case I - Wanted and interfering networks sharing the same frequency band in the same direction of transmission



BANDA	SEPARAÇÃO ORBITAL (°)	REGULAMENTAÇÃO ANATEL
C	3*	-
Ku	2	Res. 288
Ka	2	CP 61/2011

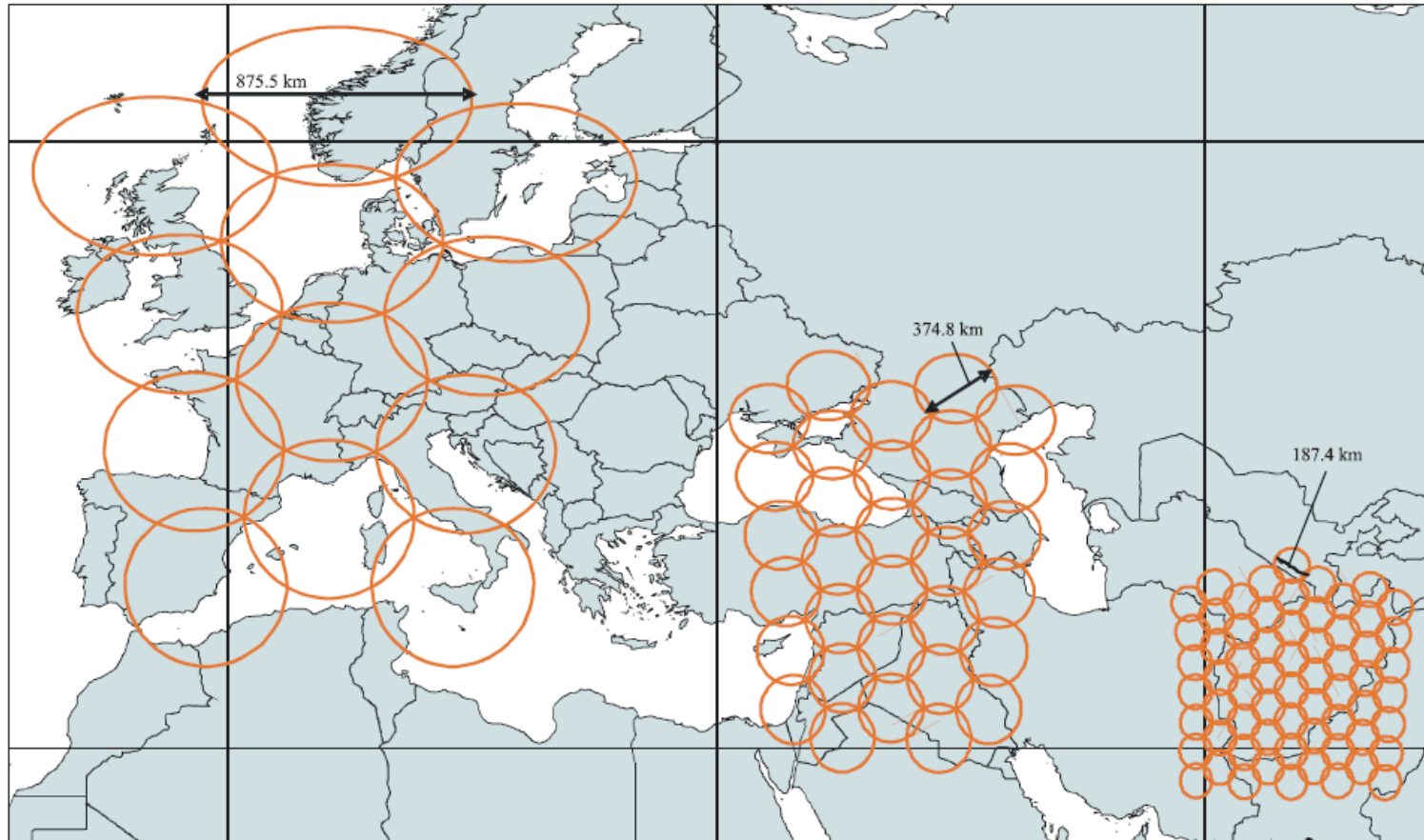
* Com restrições técnicas

Opções para o PNB

Rec. ITU-R S.1782

FIGURE 2

Examples of beam arrangements for FSS satellites that could provide high-speed Internet access



Footprints of 12 beams
in 11/14 GHz bands

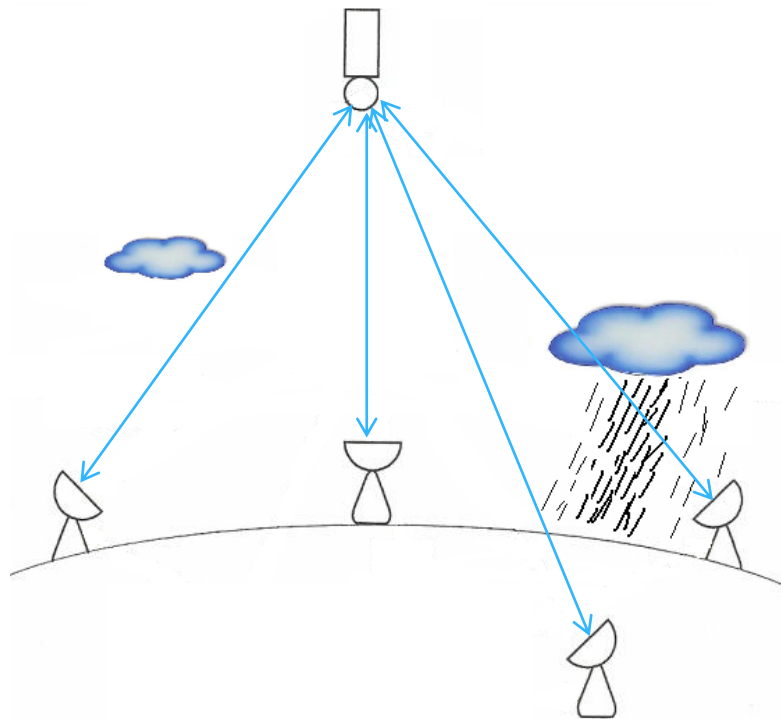
Footprints of 32 beams
in 20/30 GHz bands

Footprints of 64 beams
in 40/50 GHz bands

RECOMMENDATION ITU-R S.1782 - Possibilities for global broadband Internet access by fixed-satellite service systems

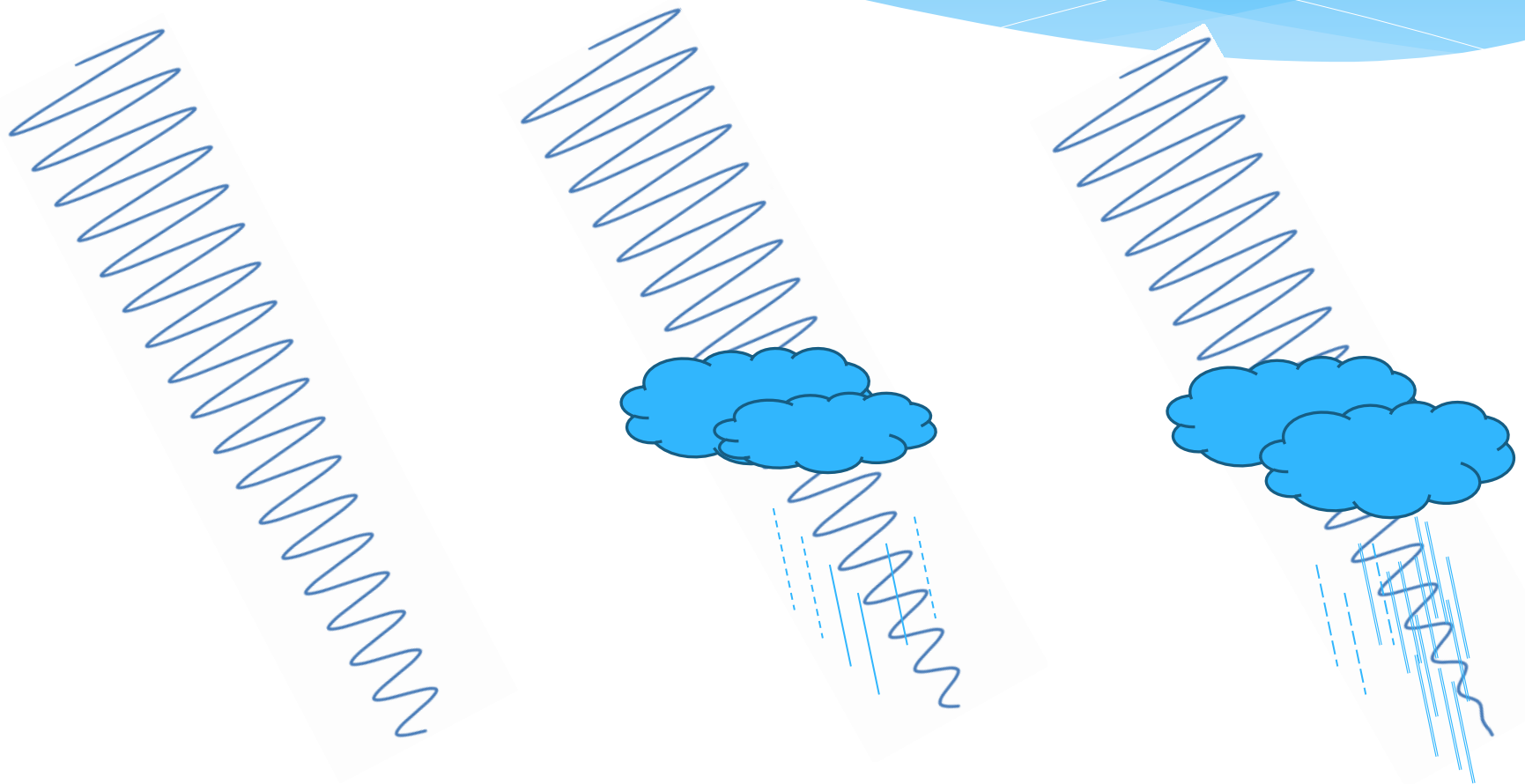
Transmissão Terra-Espaço

Atenuação do sinal / Parâmetros Importantes

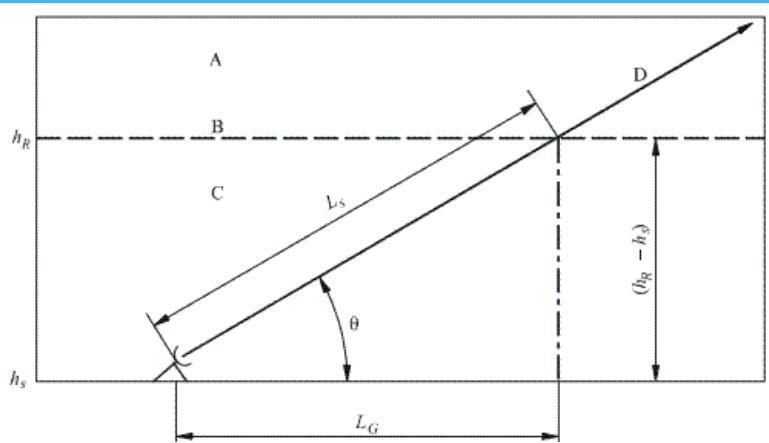


- * **Atenuação no espaço livre**
- * Absorção por gás
- * Atenuação por nuvem
- * **Atenuação por chuva**
 - * Altura da chuva
 - * Latitude da estação
 - * Altitude da estação
 - * Índice pluviométrico
 - * Elevação da antena
- * Outras

Efeito das Chuvas na Comunicação em Altas Frequências (> 10 GHz)



Equacionamento



Passo 1: Determinar altura da chuva

Passo 2: Determinar o comprimento do percurso inclinado L_s

$$L_s = \frac{(h_R - h_s)}{\sin \theta} \quad \text{km}$$

Passo 3: Determinar a projeção do percurso inclinado L_G

$$L_G = L_s \cos \theta \quad \text{km}$$

Passo 4: Obter a taxa pluviométrica $R_{0.01}$

Passo 5: Obter a atenuação específica, $\gamma_R = k (R_{0.01})^\alpha \quad \text{dB/km}$

Passo 6: Calcular o fator de redução horizontal, $r_{0.01}$, para 0,01% do tempo.

$$r_{0.01} = \frac{1}{1 + 0.78 \sqrt{\frac{L_G \gamma_R}{f}} - 0.38 (1 - e^{-2L_G})}$$

Passo 7: Calcular o fator de ajuste vertical, $v_{0.01}$, para 0,01% do tempo.

$$v_{0.01} = \frac{1}{1 + \sqrt{\sin \theta} \left(31 (1 - e^{-(\theta/(1+\chi))}) \sqrt{\frac{L_R \gamma_R}{f^2}} - 0.45 \right)}$$

Passo 8: O comprimento efetivo do percurso é

$$L_E = L_R v_{0.01} \quad \text{km}$$

Passo 9: A atenuação prevista que ultrapassará 0,01% do tempo será:

$$A_{0.01} = \gamma_R L_E$$

Passo 10: A atenuação estimada para outras percentagens é dada por:

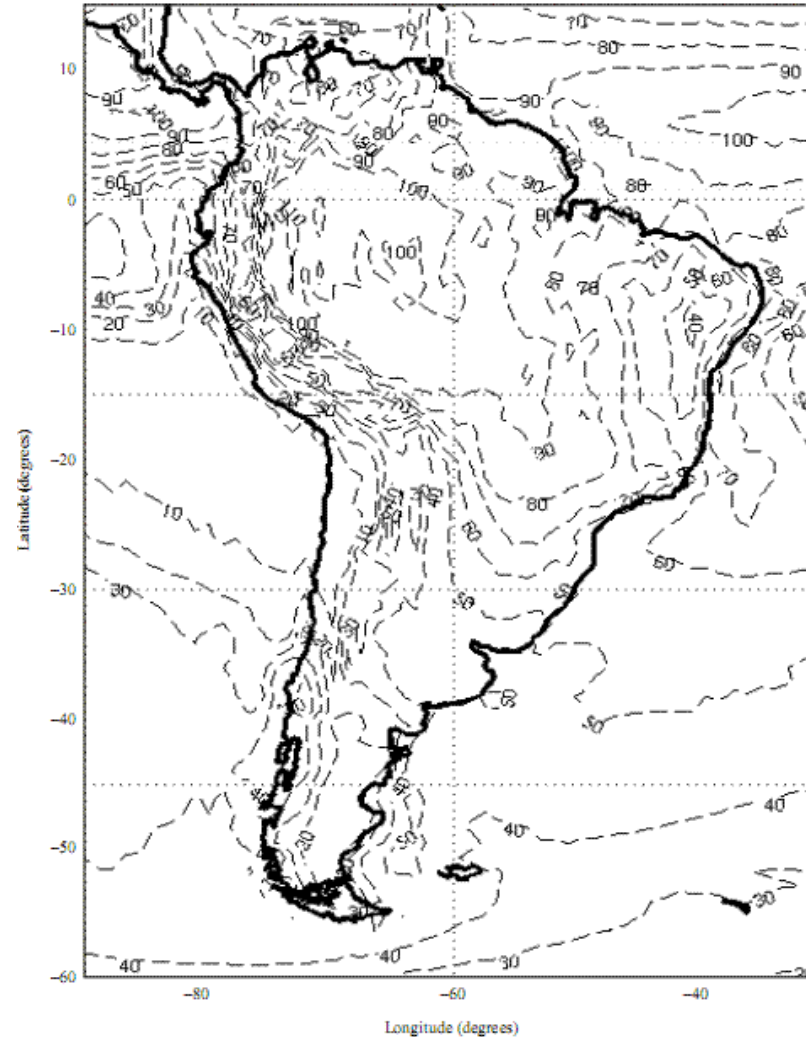
$$A_p = A_{0.01} \left(\frac{p}{0.01} \right)^{-(0.655 + 0.033 \ln(p) - 0.045 \ln(A_{0.01}) - \beta(1-p) \sin \theta)} \quad \text{dB}$$

Mapa de Chuvas na América do Sul

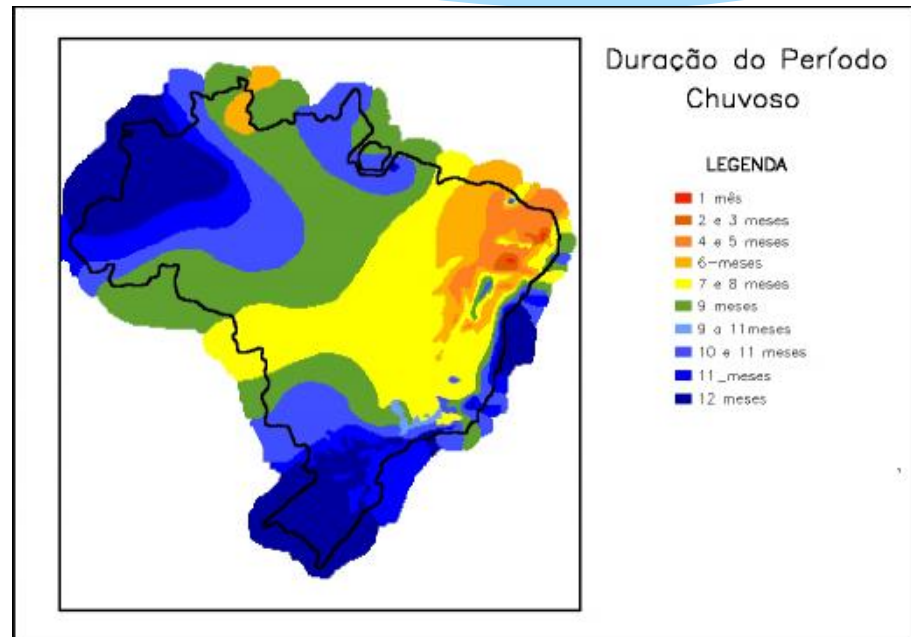
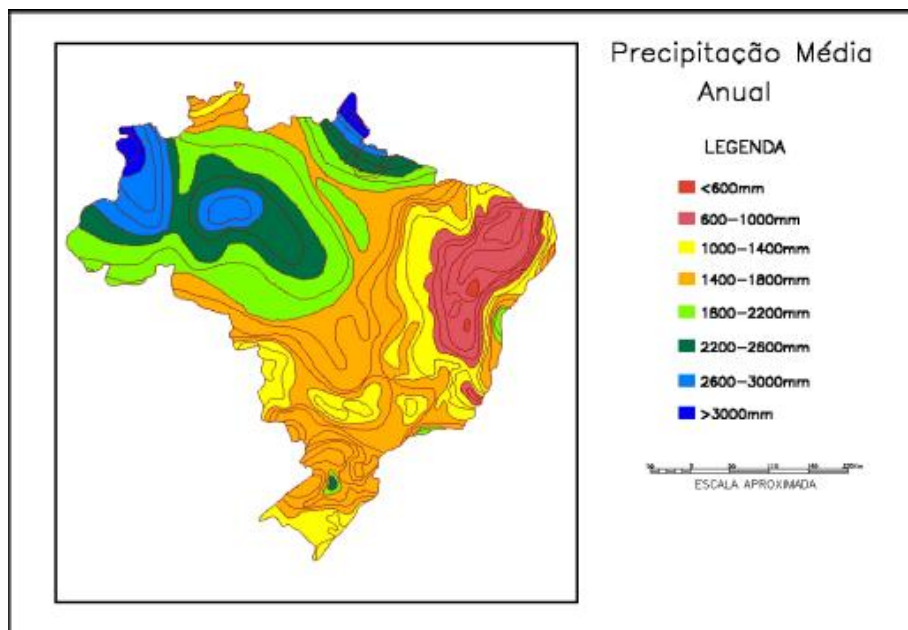
Rec. ITU-R P.837-6

FIGURE 3

Rain rate (mm/h) exceeded for 0.01% of the average year



Mapa de Chuvas do Brasil

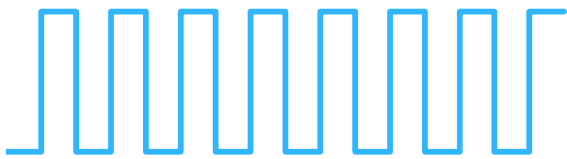
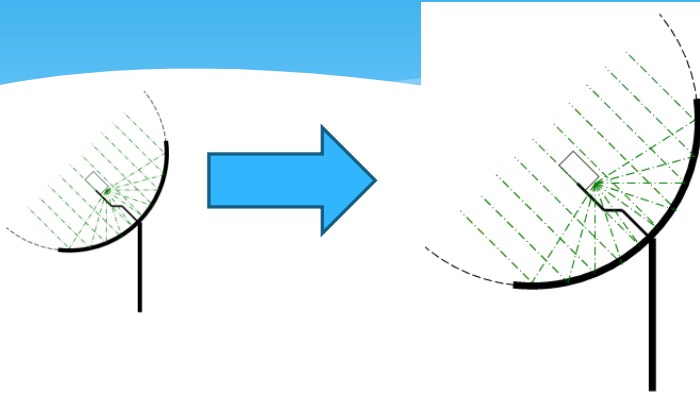


“O valor das coisas não está no tempo em que elas duram, mas na intensidade com que acontecem. Por isso existem momentos inesquecíveis, coisas inexplicáveis e pessoas incomparáveis.”

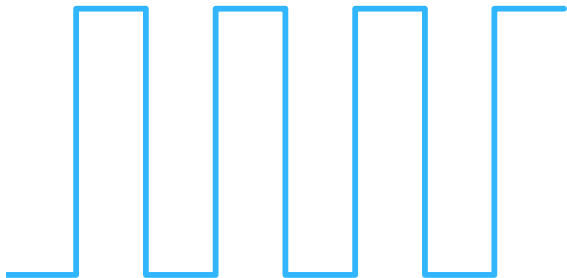
Fernando Pessoa

INPE-11237-RPQ/760

Mitigação do Efeito da Chuva



→ Controle de potência
→ Diminuição de taxa de tx



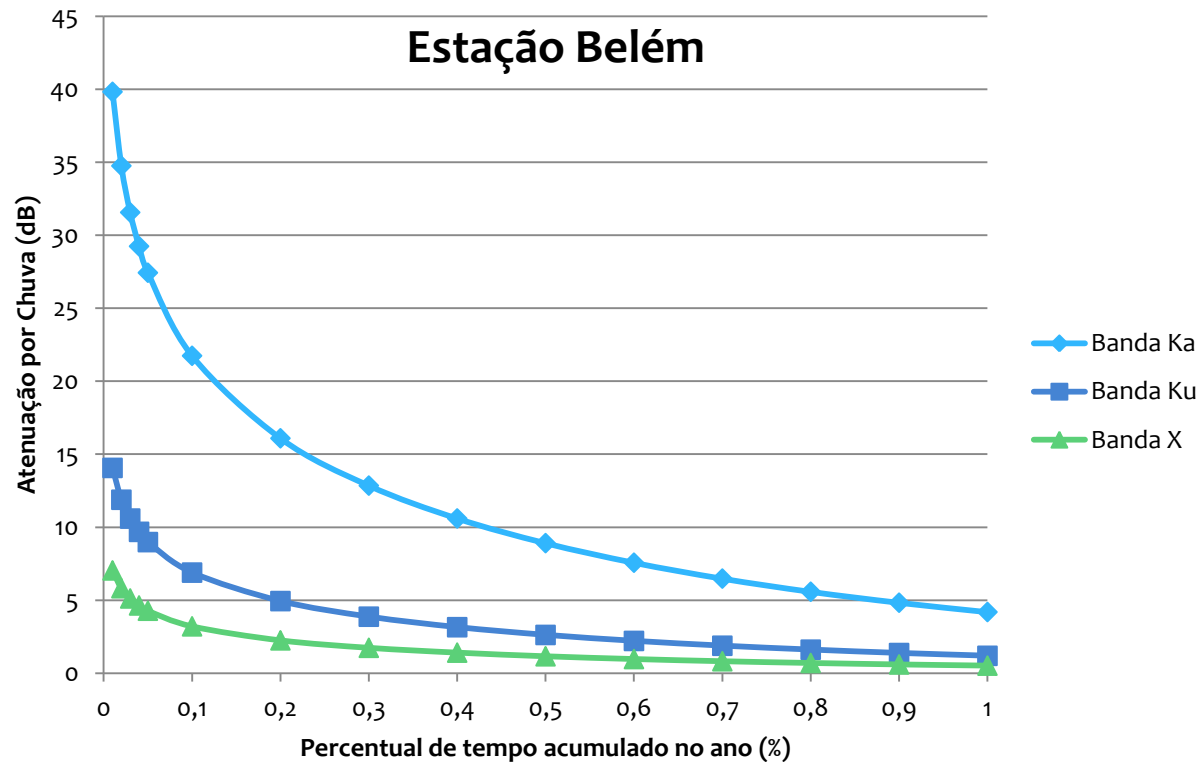
0	0	1	1
1	1	1	0
1	0	0	1
1	1	0	1



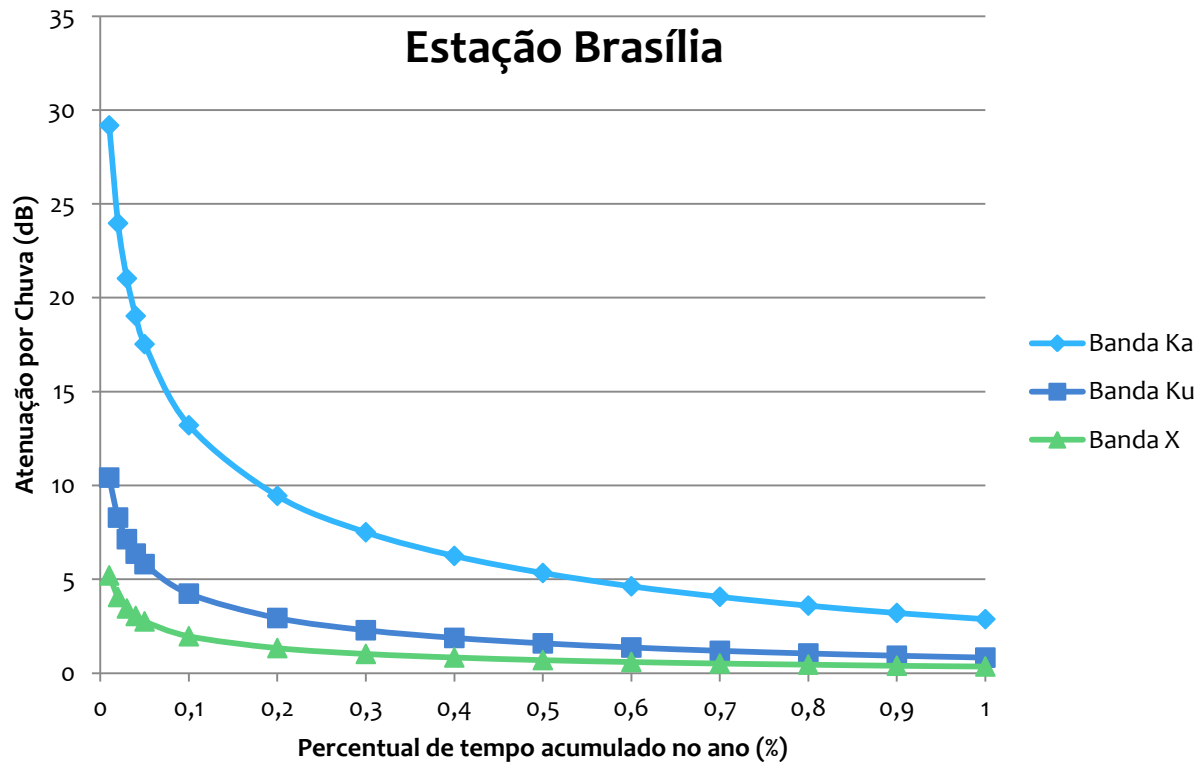
→ Codificação adaptativa

0	0	1	1	0
1	1	1	0	1
1	0	0	1	0
1	1	0	1	1
1	0	0	1	0

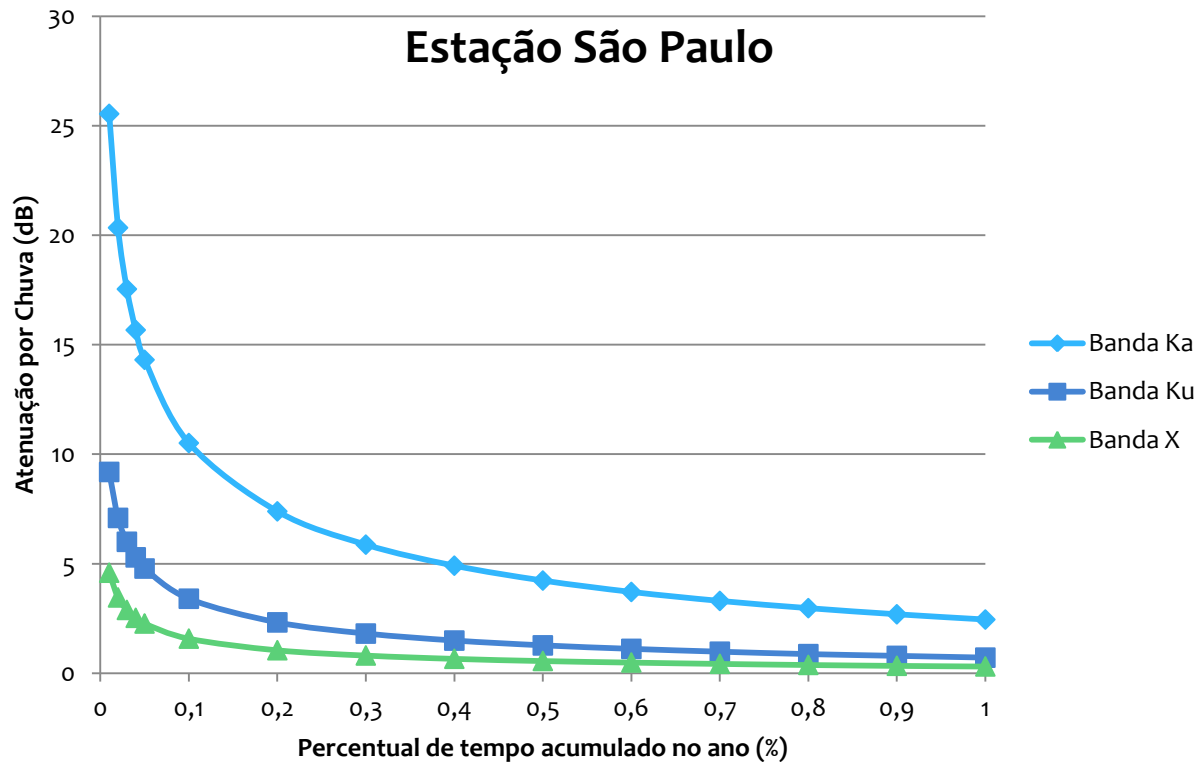
Resultados Práticos (1/4)



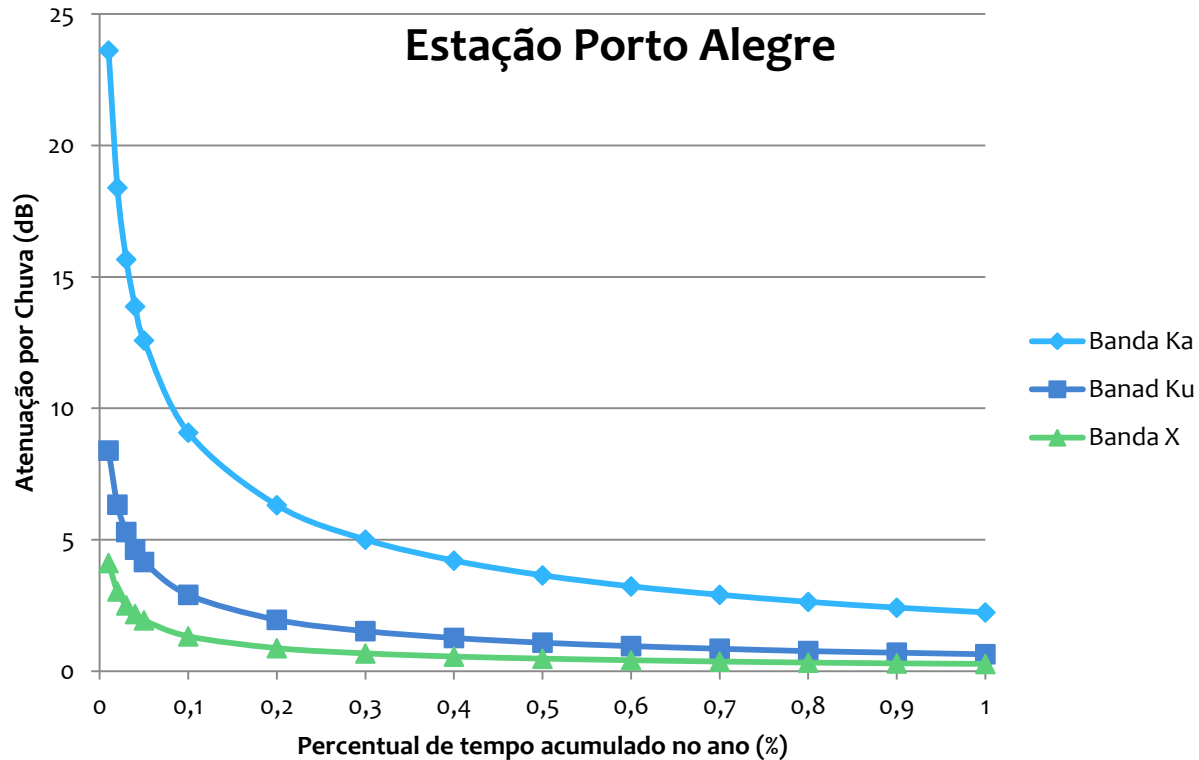
Resultados Práticos (2/4)



Resultados Práticos (3/4)



Resultados Práticos (4/4)



Exemplos de Satélites Operando na Banda Ka e suas Vantagens

Operações em banda Ka	Áreas cobertas
VIASAT (Wildblue e Exeda)	EUA
YAHSAT 1B (UAE)	Oriente Médio e África Sub Equatorial
NBN (Austrália)	Austrália
ATHENA-FIDUS (França e Itália)	Costa do Marfim e África
KA Sat	Europa
HUGHES (Spaceway e Júpiter)	EUA

	C	Ku	Ka
Faixa de Frequência	↑↑	↑↑	↑↑
Largura da Banda/ Capacidade	↑↑	↑↑	↑↑
Potencial de atenuação por chuva	↑↑	↑↑	↑↑
Tamanho da antena	↑↑	↑↑	↑↑
Custo por Mbps	↑↑	↑↑	↑↑

Algumas Referências

- * **ITU-R S.1782** - Possibilities for global broadband Internet access by fixed-satellite service systems.
- * **ITU-R P.618-10** - Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems.
- * **ITU-R P.837-6** - Characteristics of precipitation for propagation modelling.
- * **ITU-R P.838-3** - Specific attenuation model for rain for use in prediction methods.
- * **ITU-R P.839-3** - Rain height model for prediction methods.
- * **ITU-R P.1815-1** - Differential rain attenuation .
- * Artigo “**Study on Ka band Propagation Effect by Rain**”, publicado em International Symposium on Antennas and Propagation— ISAP 2006.
- * Artigo “**Rain Fade Management in Third Generation Ka-band Satellite Systems**”, publicado em KaComm Communications Pty Ltd 2009.

Considerações Finais

- * A banda Ka é a mais indicada para dar suporte a prestação de Internet Banda Larga aos locais desassistidos.
- * Disponibilidade de referência é 99,5%. Se necessário, é possível melhorar com soluções de engenharia, mas deve ser levado em conta a relação custo/benefício.
- * O sistema é dinâmico, com a degradação das condições de propagação, a taxa de transmissão diminui. Porém, pode-se projetar uma disponibilidade de 99,5% para uma taxa média e de 99,8% para uma taxa mínima.