

5 Simulações

Este capítulo contém a descrição e os resultados obtidos de simulações, realizadas para análise da indisponibilidade por chuvas, de Redes VSAT nas Bandas Ku e Ka no Brasil. São descritos a metodologia utilizada para a predição da indisponibilidade e os cenários hipotéticos utilizados nestas simulações.

5.1. Metodologia para a Predição da Indisponibilidade por chuvas

A metodologia utilizada para o cálculo estimativo da indisponibilidade por chuvas no enlace via-satélite baseia-se no conceito de margem de enlace de subida e descida, assim definidas:

- Margem de Subida (M_S): é a atenuação por chuvas no percurso de subida que resulta numa RPR total do enlace via-satélite igual a crítica para sua indisponibilidade, assumido o percurso de descida em condições de céu-claro.
- Margem de Descida (M_D): é a atenuação por chuvas no percurso de descida que resulta numa RPR total do enlace via-satélite igual a crítica para sua indisponibilidade, assumido o percurso de subida em condições de céu-claro.

O conceito de margem acima pressupõe desprezível a ocorrência de chuvas simultâneas mais intensas nos percursos de subida e descida. Desta forma, a indisponibilidade do enlace via-satélite é dada por:

$$I = I_S + I_D \quad (5.1)$$

Onde:

I_S - Indisponibilidade devida a chuvas no percurso de subida, calculada pela probabilidade da atenuação por chuvas exceder a margem de subida:

$$I_S = P(A_{ch} \geq M_S) \quad (5.2)$$

I_D - Indisponibilidade devida a chuvas no percurso de descida, calculada pela probabilidade da atenuação por chuvas exceder a margem de descida:

$$I_D = P(A_{ch} \geq M_D) \quad (5.3)$$

5.1.1. Margens de Subida e Descida

As margens de subida e descida, acima definidas, aplicadas a satélites com transponder de repetição, podem ser determinadas através das seguintes fórmulas [2]:

$$M_S = 10 \log \left[\frac{10^{-RPR_C/10} - 10^{-RPR_I/10} + 10^{-RPRT'/10}}{10^{-RPR_{Total}/10} - 10^{-RPR_I/10} + 10^{-RPRT'/10}} \right] \quad (5.4)$$

$$M_D = 10 \log \left[\frac{10^{-RPR_C/10} - 10^{-RPR_S/10} + 10^{-RPRT'/10}}{10^{-RPR_D/10} + 10^{-RPRT'/10}} \right] \quad (5.5)$$

Onde:

RPR_C : relação portadora - ruído crítico

RPR_I : relação portadora - ruído de intermodulação de céu-claro

$RPRT' = RPRT_D - 10 \log(T'/T_e)$

$RPRT_D$: relação portadora - ruído térmico de descida de céu-claro

RPR_S : relação portadora - ruído térmico de subida de céu-claro

RPR_{Total} = relação portadora- ruído total de céu-claro

5.1.2. Predição de Indisponibilidade com Modelo da Rec. P.618-5

A utilização do Modelo da Recomendação P.618-5 implica em que a indisponibilidade devida aos enlaces de subida e descida sejam estimadas através

da equação (4.8), utilizando as respectivas margens, calculada conforme acima, e o valor de $A_{0,01}$ deste modelo.

5.1.3.

Predição de Indisponibilidade com Modelo da Rec. P.618-8

A utilização do Modelo da Recomendação P.618-8 requer um cálculo numérico para a estimativa das indisponibilidades devidas aos enlaces de subida e descida. Tal processo deve-se à inexistência de uma fórmula de inversão da expressão (4.16), isto é, a relação percentagem do tempo e a correspondente atenuação por chuvas.

5.1.4.

Predição de Indisponibilidade com Modelo CETUC

Com o Modelo CETUC a indisponibilidade devida a cada enlace foi obtida a partir da correspondente distribuição cumulativa da atenuação por chuvas, gerada pela fórmula (4.29), e respectiva margem. A Figura 5.1 ilustra este processo onde a margem é um valor de entrada no eixo vertical e a correspondente indisponibilidade obtida no eixo horizontal.

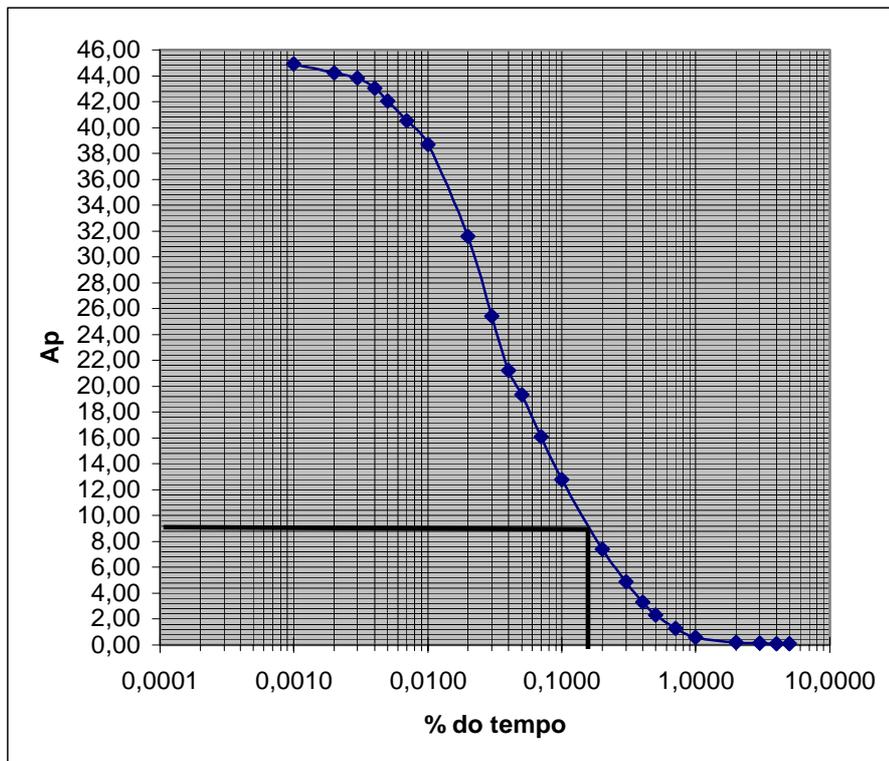


Figura 5.1: Predição da Indisponibilidade com o Modelo CETUC

5.2. Satélites Utilizados

Alguns satélites GEO autorizados para operarem no Brasil e um hipotético foram considerados nas simulações. A escolha levou em conta aspectos de ângulo de elevação e cobertura para Redes VSATs no Brasil conforme será descrito na seção 5.3. A seguir, serão apresentadas as principais características técnicas destes satélites.

5.2.1. Satélite Atlantic Bird 2

O satélite ATLANTIC BIRD 2 é geostacionário com 352° de longitude, provendo uma cobertura nas Américas e uma cobertura mais intensa na Europa com conectividade transatlântica, o que possibilita transmissões da Costa Leste dos Estados Unidos ou da América do Sul diretamente à Europa Ocidental e Central e ao Golfo México. Este satélite tem um feixe de apontamento para o Brasil, apesar de estar bastante afastado.



Figura 5.2: Satélite Atlantic Bird 2

De acordo com o Capítulo 3, para o cálculo de um enlace via-satélite os mapas de cobertura (“footprint”) de EIRPS, G/T e PFDS são importantes, pois nos fornecem estes parâmetros em função da localização de estação terrena. A Figura 5.3 apresenta o “footprint” para o Brasil do satélite Atlantic Bird. A densidade de fluxo de saturação é obtida através do gráfico de fator de mérito, onde seu cálculo se encontra na tabela 5.1.

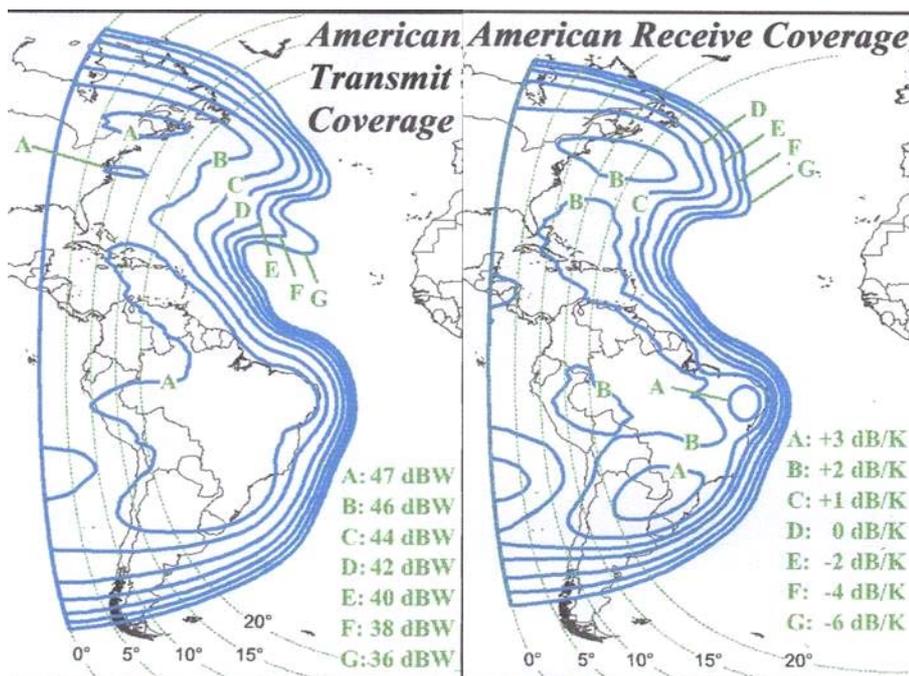


Figura 5.3: Mapas de cobertura Atlantic Bird 2

Nação	Internacional
Tipo / Aplicação	Comunicação
Operador	Eutelsat
Fabricante	Alcatel Space
Equipamento	26 transponders na banda Ku
Configuração	Spacebus-3000B2
Órbita	GEO – 352°
Transponders operacionais	26
Valores típicos de PFDS	$-(92+G/T)$ até $-(77+G/T)^X$

Tabela 5.1: Dados do Satélite Atlantic Bird 2 (X= fator de conversão)

5.2.2. Satélite Satmex 5

Os dados do satélite Satmex 5 (Figura 5.4) se encontram na Tabela 5.2, e o mapa de cobertura de EIRPS, G/T e PFDS na banda Ku se encontram nas Figuras 5.5, 5.6 e 5.7, respectivamente.



Figura 5.4: Satélite Satmex 5

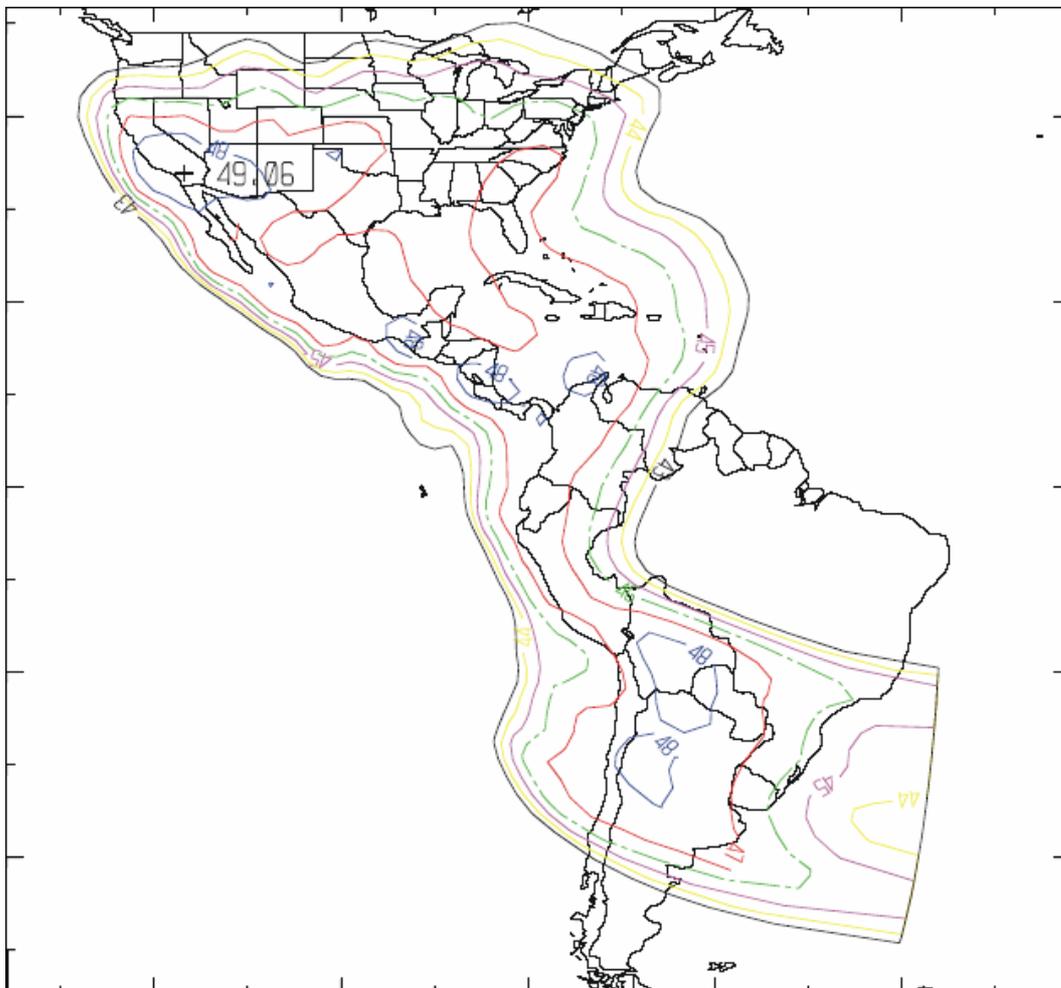


Figura 5.5: Mapa de cobertura da EIRPS Satmex 5

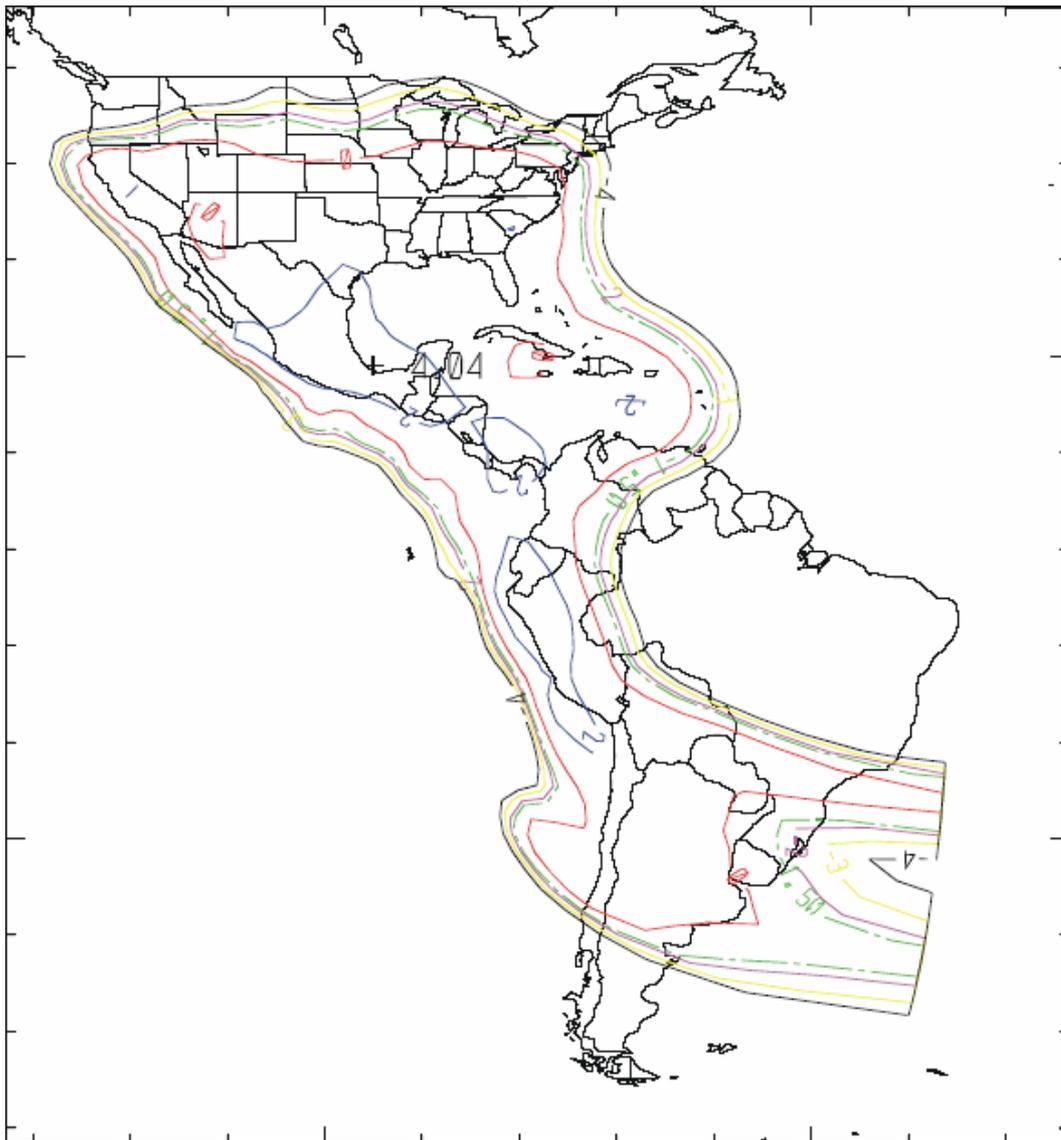


Figura 5.6: Mapa de cobertura da G/T Satmex 5

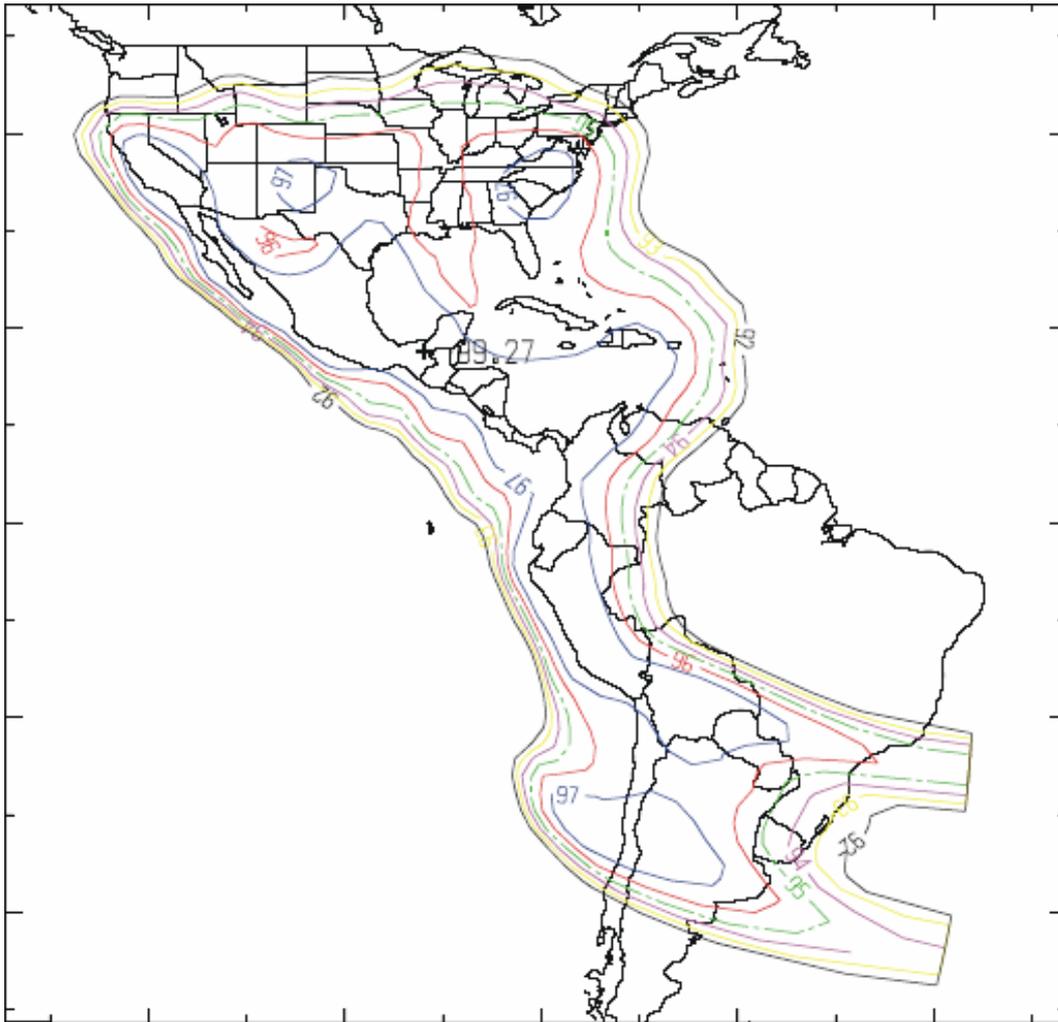


Figura 5.7: Mapa de cobertura da SFD Satmex 5

Nação	México
Tipo / Aplicação	Comunicação
Operador	Satélites Mexicanos S.A. de C.V. (Satmex)
Fabricante	Hughes
Equipamento	24 transponders nas bandas C e Ku
Configuração	HS-601HP
Órbita	GEO – 243 ^o

Tabela 5.2: Dados do Satélite Satmex 5

5.2.3. Satélite Brasil 1 (T)

Brasil 1 (T) é um satélite de comunicação de alta potência que opera-se na Banda Ku (14/12 GHz), e está localizado a 297°.

As Figuras 5.7 e 5.8 contem os “footprints” deste satélite e a Tabela 5.3 as demais características.

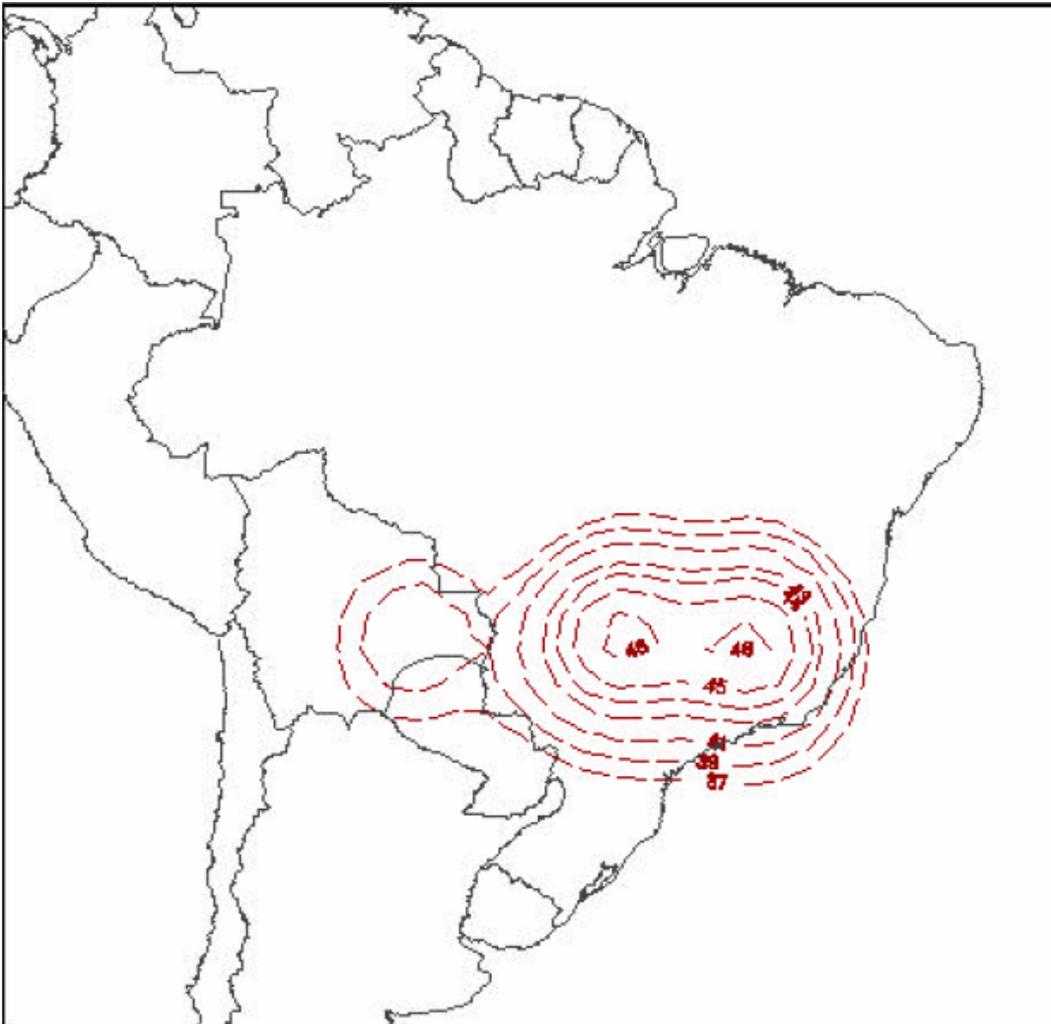


Figura 5.7: Mapa de cobertura da EIRPS do satélite Brasil 1 (T)

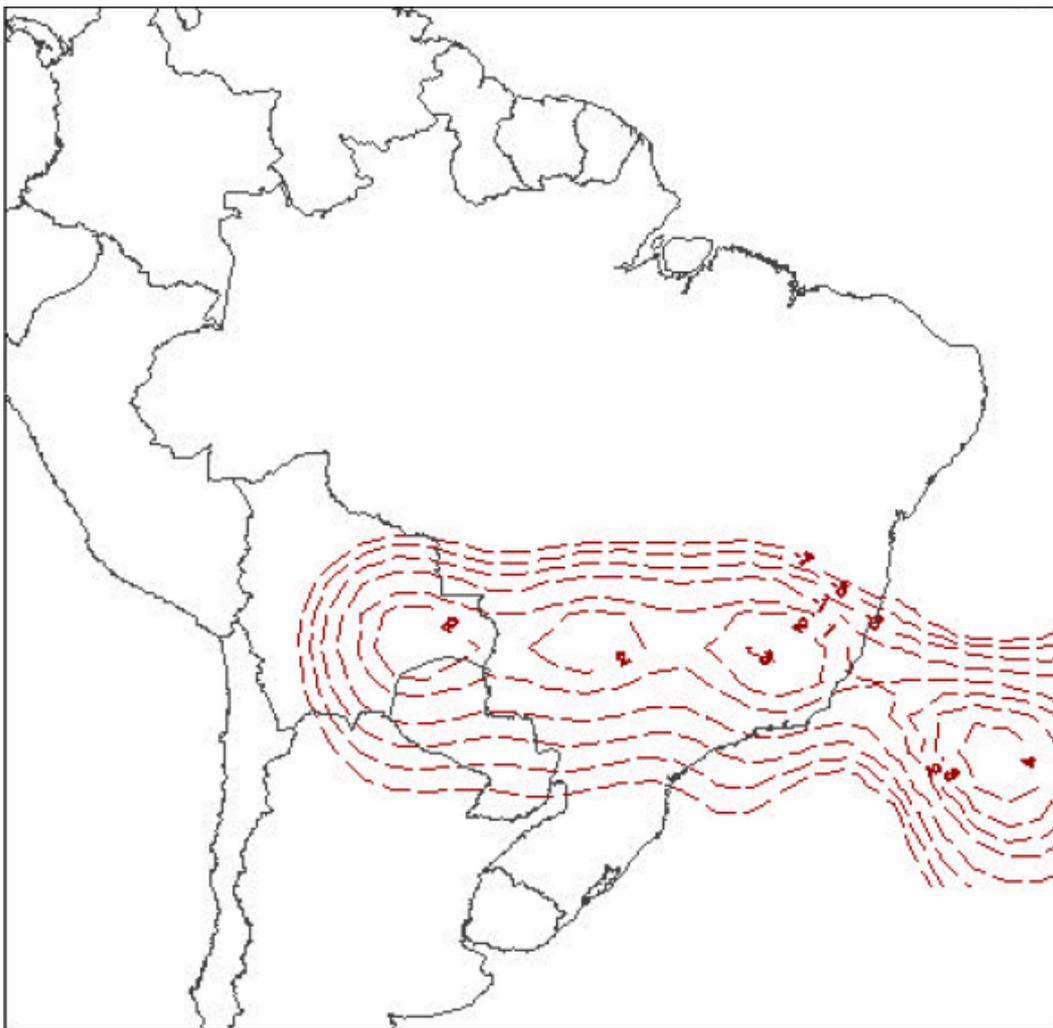


Figura 5.8: Mapa de cobertura de G/T do satélite Brasil 1 (T)

Número de Transponders	8
Densidade de fluxo de saturação	-80 até -84 (dBW/m ²)
Polarização	Polarização Ortogonal Linear
Frequências	11.7 – 12.2 GHz e 14.0 – 14.5 GHz
Órbita	GEO – 297 ⁰

Tabela 5.3: Dados do Satélite Brasil 1 (T)

5.2.4. Satélite PAS-9

O satélite PAS-9 (Figura 5.9) tem feixes de cobertura nas Bandas C e Ku para as Américas, Caribe e Europa Ocidental.



Figura 5.9: Satélite PAS-9

Os dados do satélite PAS-9 e o mapa de cobertura (EIRPS e G/T) na Banda Ku se encontram nas Tabela 5.4 e nas Figuras 5.10 e 5.11 respectivamente.

Satélite	PAS-9
Espaçonave	Boeing 601 HP
Localização Orbital	GEO – 302 ^o
Polarização	Linear
Cobertura	Américas, Caribe e Europa.

Tabela 5.4: Dados do Satélite PAS -9

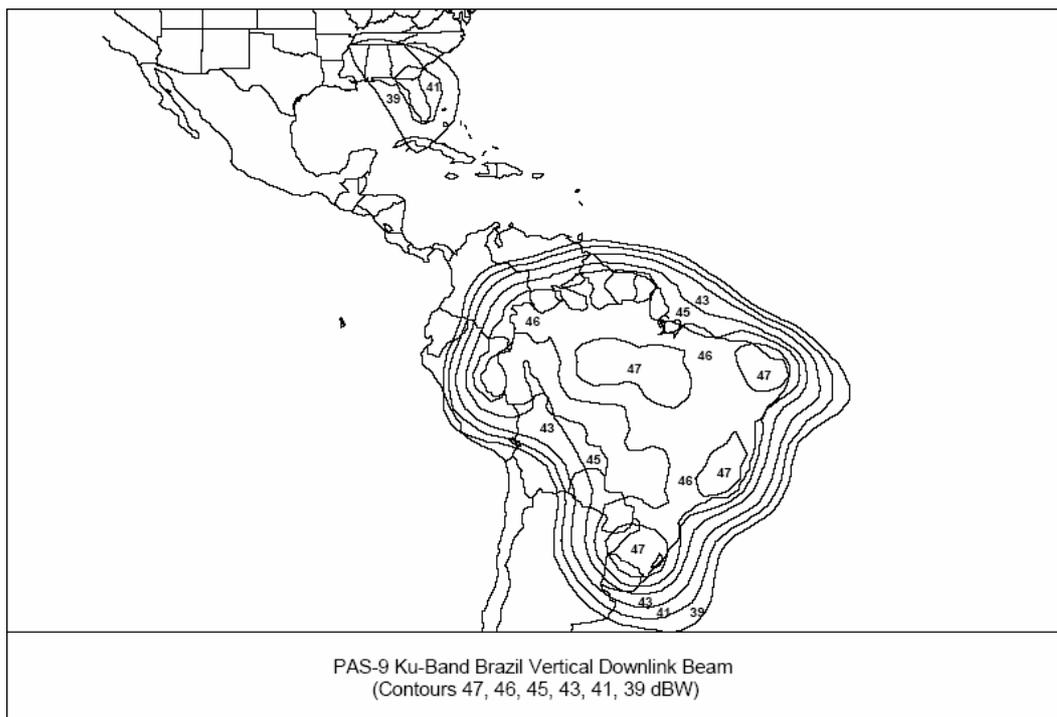


Figura 5.10: Mapa de cobertura da EIRPS do satélite PAS-9

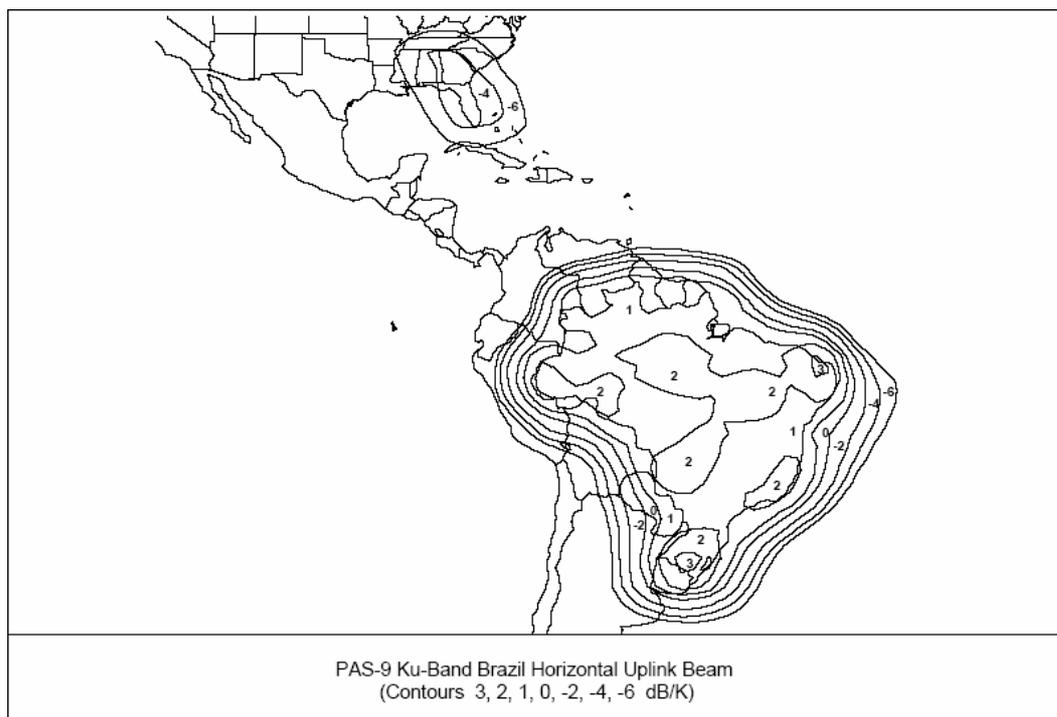


Figura 5.11: Mapa de cobertura do G/T do satélite PAS-9

5.2.5. Satélite Hipotético

Para simular o desempenho de um futuro satélite doméstico do Brasil na Banda Ku foi considerado um satélite hipotético, tendo a mesma posição orbital do satélite BRASILSAT-B (GEO – 295⁰) e demais características de um satélite típico na Banda Ku.

5.3. Simulações – Cenário 1

O primeiro cenário utilizado nas simulações está mostrado na Figura 5.12. Foram considerados quatro satélites geostacionários, descritos na seção anterior, e seus respectivos sistemas, tendo as localizações de estações terrenas indicadas nesta figura. Os satélites Atlantic Bird 2 (longitude 352^o) e Satmex 5 (longitude 243^o) foram escolhidos por estarem bastante afastados do Brasil, o que permitiu simular enlaces com pequenos ângulos de elevação. O satélite hipotético tem características de um satélite real com a posição do Brasilsat B (longitude 295^o), o que permitiu simular enlaces com futuros satélites domésticos do Brasil. O satélite Brasil 1 (T) (longitude 297^o) também foi escolhido para simular sistemas domésticos. Os locais das estações terrenas foram escolhidos visando simular uma cobertura em todo o Brasil e pela disponibilidade de dados de precipitação.

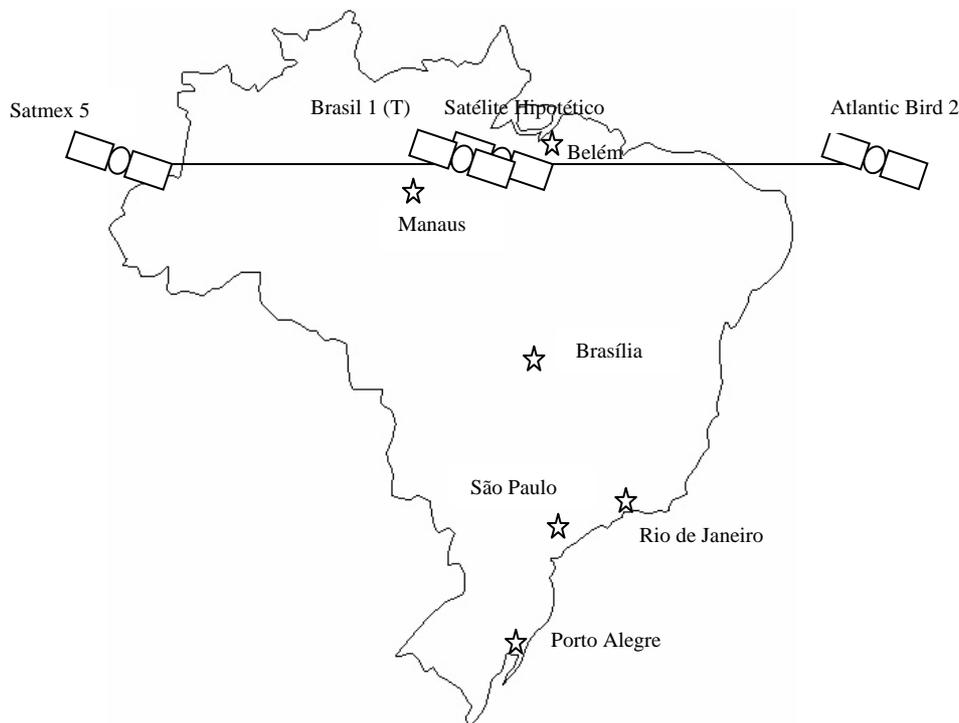


Figura 5.12: Cenário 1 de Redes VSAT

Esta análise tem como objetivo caracterizar, através de simulações, a indisponibilidade por chuvas, no Brasil, de serviços como telefonia e transmissão de dados e TV oferecidos via satélite, através de redes VSAT com topologia em estrela. Para isso foram utilizados dois modelos da UIT-R para a atenuação por chuvas em enlaces Terra-satélite - um mais antigo (Recomendação P. 618-5) [7] e outro, o atual (Recomendação P. 618-8) [8] - e dois valores para o parâmetro climático utilizado nestes modelos que é a taxa de precipitação excedida em 10^{-2} % do tempo ($R_{0,01}$) - um calculado através de Atlas mundial (Recomendação P. 837 da UIT-R) [4] e outro obtido através de medidas efetuadas pelo CETUC [10], mostrados na Tabela 5.5. Foram, ainda, considerados além do cenário hipotético em termos da localização das estações terminais (VSAT e HUB) da Figura 5.12, dos satélites com transponders nas bandas Ka e Ku descritos características (reais) de equipamentos e sistemas e cujos parâmetros estão no Anexo A.

R _{0,01} (mm/h)		
	calculada	medida
Belém	110	145
Brasília	91,1	103,3
Manaus	109,5	105,8
Porto Alegre	60,5	51,1
Rio de Janeiro	59,2	78,9
São Paulo	68	89,4

Tabela 5.5: Taxa de precipitação excedida em 10⁻² % do tempo

5.3.1. Análises

A combinação dos diversos satélites e sistemas considerados resultou de um total de 480 enlaces hipotéticos, cuja indisponibilidade por chuvas foi obtida usando-se cada um dos dois modelos da UIT-R mencionados. O primeiro tipo de análise teve por objetivo caracterizar o comportamento da indisponibilidade por chuvas para as polarizações vertical e horizontal. O segundo tipo de análise visou uma comparação entre as indisponibilidades por chuvas estimadas pelos dois modelos anteriormente citados. Finalmente, o terceiro tipo de análise consistiu em comparar a indisponibilidade por chuvas estimada, nas bandas Ka e Ku, com o valor máximo recomendado para serviços de telecomunicações pela UIT-R [9] (indisponibilidade por chuva estimada x indisponibilidade máxima recomendada). Este valor máximo recomendado é de 0,2 % do pior mês de um ano, o que é equivalente a 0,047 % do ano.

Todos os valores de indisponibilidade por chuvas calculados no devido estudo estão no anexo B.

5.3.1.1. Polarização Horizontal x Polarização Vertical

Os gráficos mostrados nas Figuras 5.13 a 5.16 mostram claramente que a indisponibilidade por chuvas, em percentagem anual, com polarização vertical é estimada em níveis bem inferiores do que aqueles com polarização horizontal, visto que todos os valores calculados se encontram acima da reta de

equi-probabilidade. Isto ocorre para ambos os modelos de atenuação por chuvas da UIT-R (antigo e atual) utilizados e também para os dois valores (medido e calculado) da taxa de precipitação $R_{0,01}$ excedida em 0,01 % do tempo.

Já nas Figuras 5.17 e 5.18, os histogramas mostram a relação das polarizações verticais e horizontais em dois gráficos de taxas de precipitação medida e calculada. Nota-se que para ambas as taxas de precipitação os números de casos se encontram em sua maioria na classe de 0 - 0,1 % de indisponibilidade por chuva.

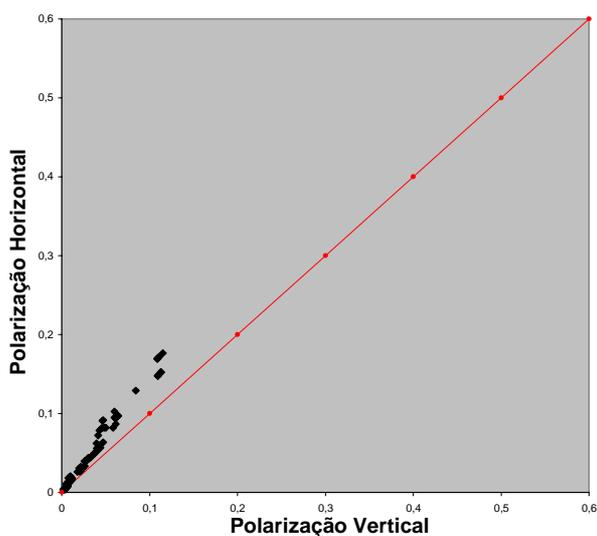


Figura 5.13: Indisponibilidade por chuvas e polarização: modelo UIT-R P.618-8 e taxa de precipitação medida

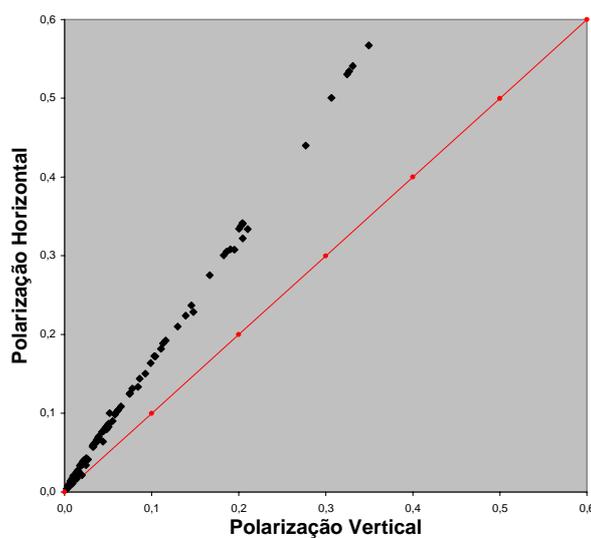


Figura 5.14: Indisponibilidade por chuvas e polarização: modelo UIT-R P.618-5 e taxa de precipitação medida

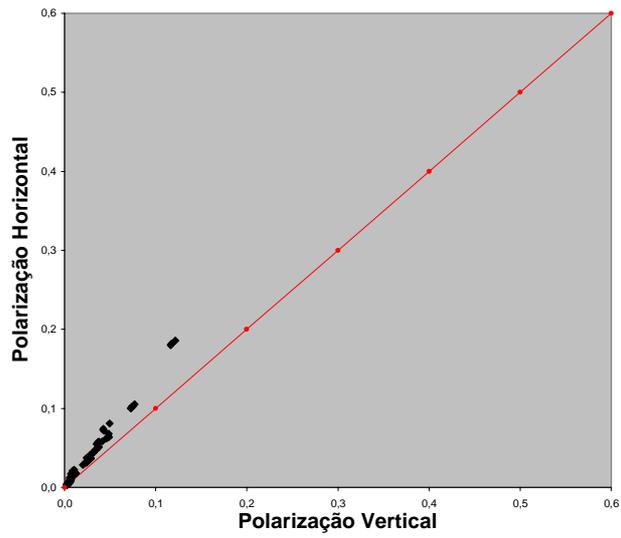


Figura 5.15: Indisponibilidade por chuvas e polarização: modelo UIT-R P.618-8 e taxa de precipitação calculada

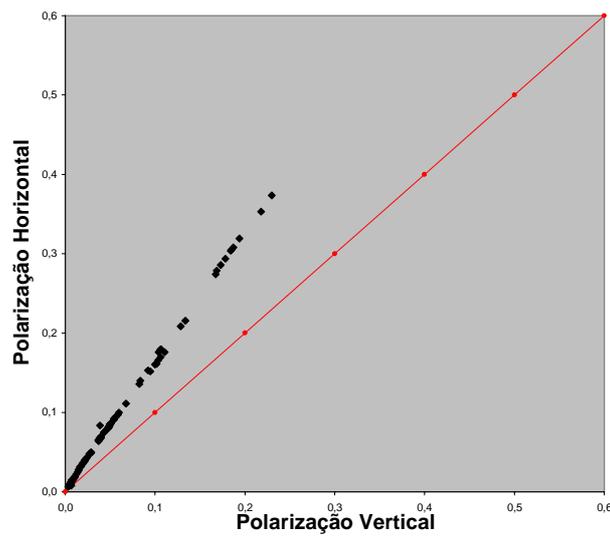


Figura 5.16: Indisponibilidade por chuvas e polarização: modelo UIT-R P.618-5 e taxa de precipitação calculada

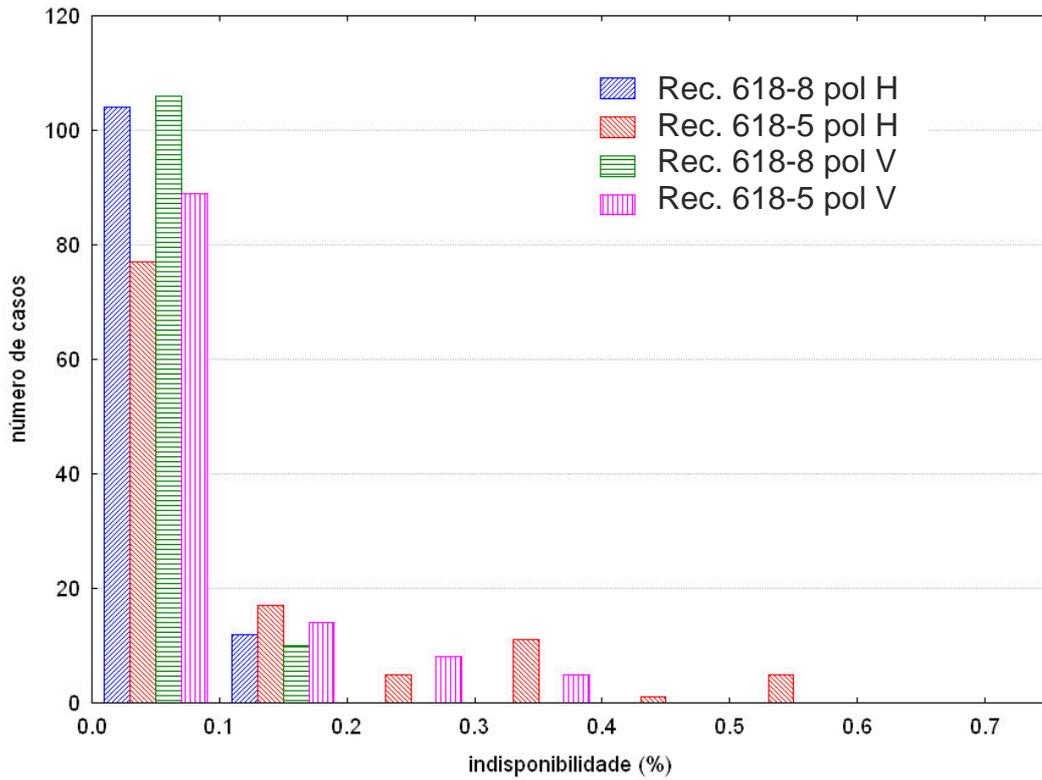


Figura 5.17: Indisponibilidade por chuvas, Modelos UIT-R e polarização: taxa de precipitação medida

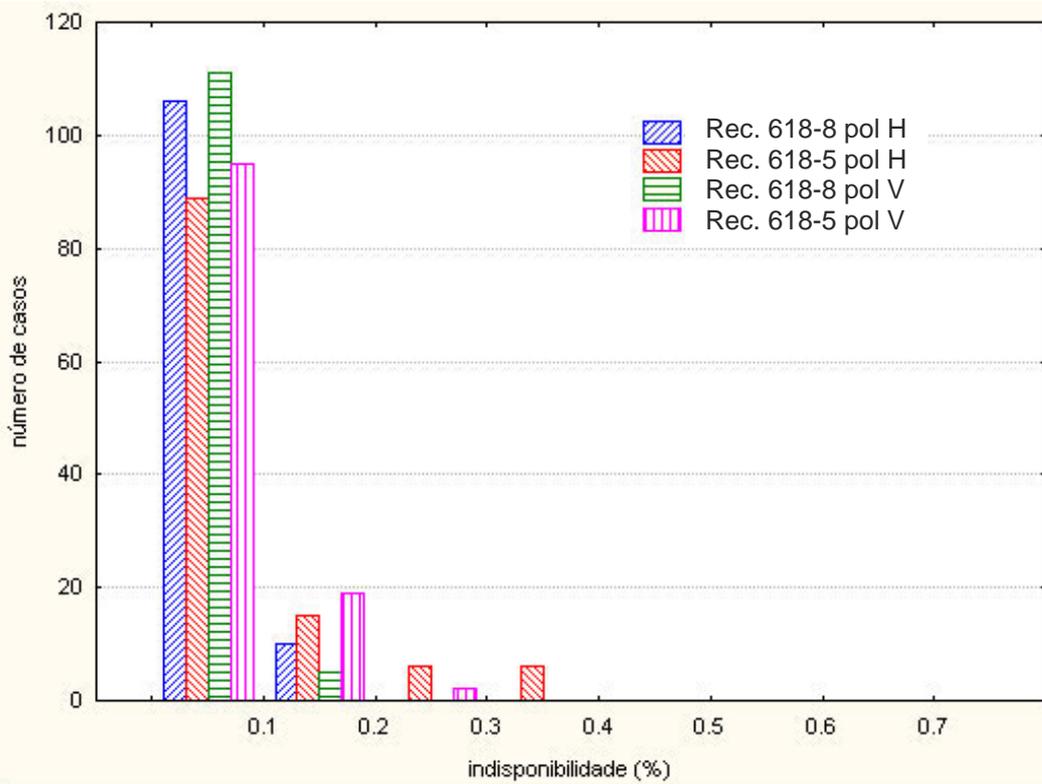


Figura 5.18: Indisponibilidade por chuvas, Modelos UIT-R e polarização: taxa de precipitação calculada

5.3.1.2. Modelo P.618-5 x Modelo P.618-8

As Figuras 5.19 e 5.20 permitem comparar a indisponibilidade por chuvas em percentagem anual estimada com as duas últimas versões dos modelos de atenuação por chuvas recomendados pelo UIT-R. Já as Figuras 5.21 e 5.22 permitem comparar a razão dos modelos e o modelo atual, mostrando que os valores de indisponibilidade por chuvas em cada enlace não seguem um mesmo padrão de proporcionalidade entre eles. Portanto existe diferença para cada especificação de satélite e enlace diferentes.

É possível concluir que os valores de indisponibilidade por chuvas obtidos quando se utiliza o modelo atual da UIT-R são inferiores aos que resultam do uso da versão anterior do modelo, tanto para os valores da taxa de precipitação $R_{0,01}$ medidos quanto para os calculados. Isto significa que o modelo de atenuação por chuvas, atualmente recomendado pela UIT-R, apresenta-se otimista, quando comparado com a versão anterior, na estimativa da indisponibilidade por chuvas dos enlaces via-satélite. Outra observação interessante é que apesar do uso de dois valores diferentes (medido e calculado) para $R_{0,01}$ ter gerado valores diferentes para a indisponibilidade por chuvas em algumas regiões, em termos gerais esta apresentou um mesmo padrão de comportamento.

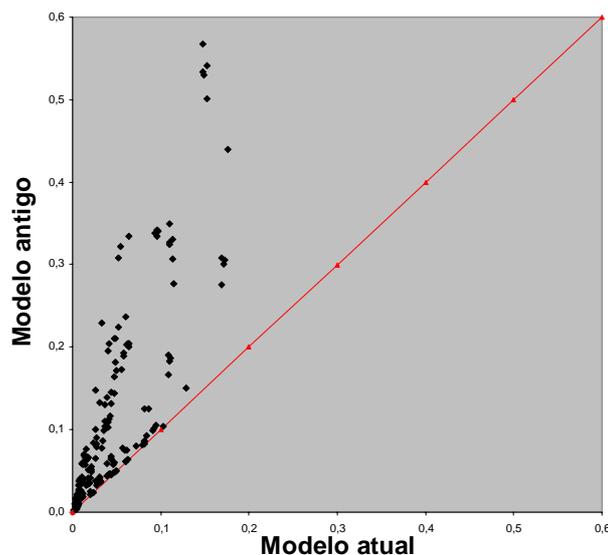


Figura 5.19: Indisponibilidade por chuva e Modelos UIT-R com taxa de precipitação medida

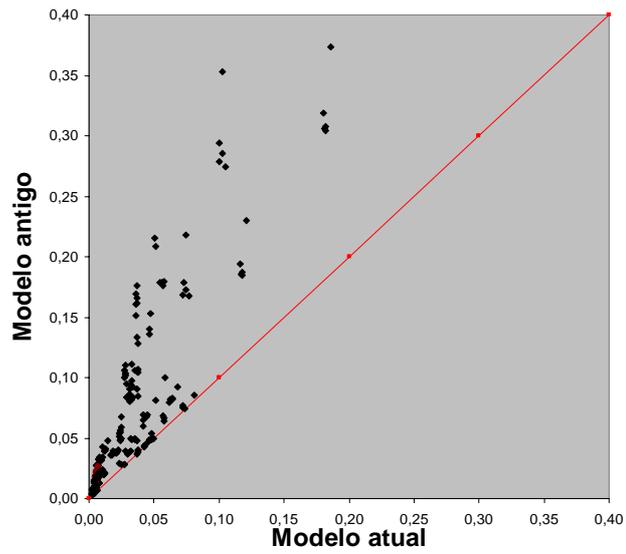


Figura 5.20: Indisponibilidade por chuva e Modelos UIT-R com taxa de precipitação calculada

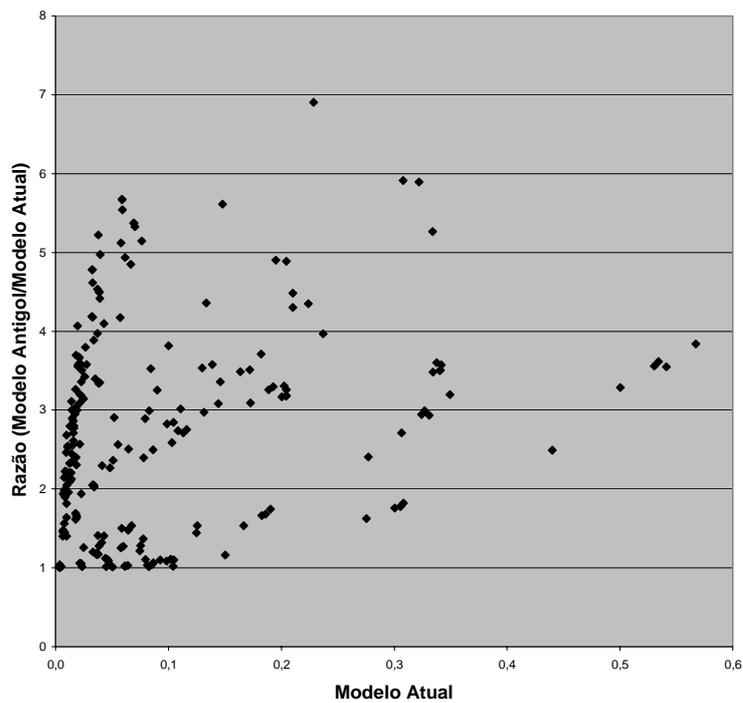


Figura 5.21: Indisponibilidade por chuva, razão e Modelo UIT-R atual com taxa de precipitação medida

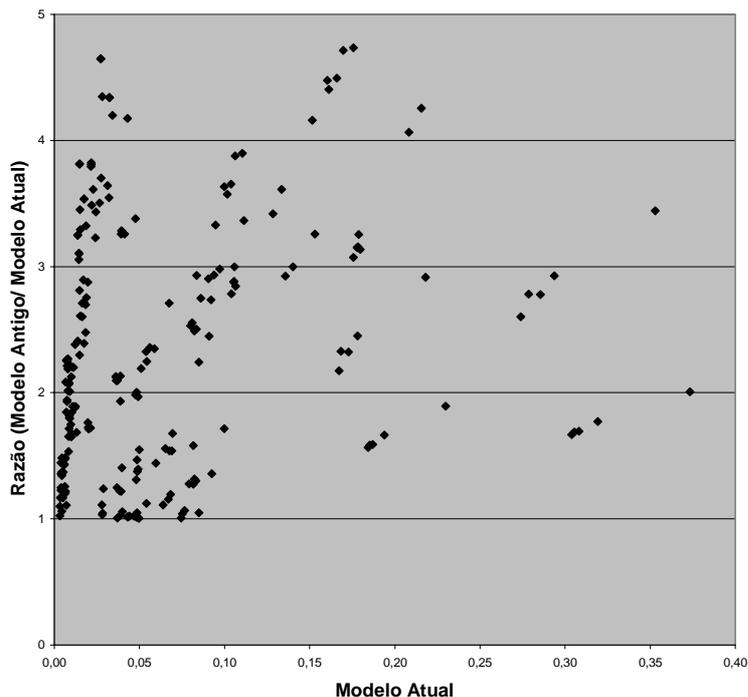


Figura 5.22: Indisponibilidade por chuva, razão e Modelo UIT-R atual com taxa de precipitação calculada

5.3.1.3. Indisponibilidade Estimada x Indisponibilidade Máxima

A Tabela 5.6 apresenta os resultados da comparação entre a indisponibilidade por chuvas estimada e a máxima recomendada pela UIT-R [9] de 0,2 % mensal o que é equivalente em base anual a 0,047%.

Estes resultados permitem concluir que o dado de taxa de precipitação onde se localizam as estações terrenas influem consideravelmente num estudo de viabilidade de sistemas via satélite nas bandas Ka e Ku no Brasil. Outra conclusão é de que um estudo de viabilidade destes sistemas é bastante influenciado pelo modelo de atenuação por chuvas utilizado. Observa-se que o uso da versão antiga do modelo antigo da UIT-R prevê uma porcentagem maior de enlaces inviáveis, ou seja, com indisponibilidade acima da máxima recomendada que o do modelo atual.

Modelo	Porcentagem de enlaces viáveis
UIT-R Antigo com taxa de chuva medida	61%
UIT-R Atual com taxa de chuva medida	77%
UIT-R Antigo com taxa de chuva calculada	65%
UIT-R Atual com taxa de chuva calculada	83%

Tabela 5.6: Porcentagem de enlaces viáveis

Para uma melhor caracterização da análise da indisponibilidade estimada no Brasil, a Tabela 5.7 apresenta as divisões climáticas por radioclimas no território brasileiro, definidas pelo CETUC, para as 5 localidades do cenário utilizado.

Equatorial (EQ)	Belém e Manaus
Tropical de altitude (TA)	Brasília e São Paulo
Tropical Marítimo (TM)	Rio de Janeiro
Sub-Tropical (ST)	Porto Alegre

Tabela 5.7: Divisões climáticas

A Tabelas de 5.8 a 5.21 apresentam as mesmas porcentagens de enlaces viáveis, só que agora divididos por divisões climáticas e somente para o modelo do UIT-R atual, ilustrando que o enlace, a polarização, a especificação do satélite e a taxa de precipitação, são fatores diferenciais para o cálculo da indisponibilidade por chuvas.

Nas tabelas abaixo as células contêm as porcentagens de enlaces viáveis por radioclimas com seus números de casos de pares de enlaces em parênteses. Por exemplo, a primeira célula mostra que 62,5% dos 16 pares de enlaces no radioclima Equatorial (EQ) são viáveis. Considerando os 8 enlaces do clima tropical marítimo (TM) para o clima subtropical observa-se que 87,5 % são viáveis.

	EQ	TA	TM	ST
EQ	62,5% (16)	62,5% (32)	62,5% (16)	62,5% (16)
TA	72% (32)	75% (16)	68,8% (16)	68,8% (16)
TM	62,5% (16)	62,5% (16)	---	87,5% (8)
ST	100% (16)	100% (16)	100% (8)	---

Tabela 5.8: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação medida

	EQ	TA	TM	ST
EQ	68,75% (16)	68,8% (32)	68,8% (16)	68,8% (16)
TA	78,125% (32)	87,5% (16)	87,5% (16)	81,3% (16)
TM	87,5% (16)	75% (16)	---	87,5% (8)
ST	100% (16)	100% (16)	100% (8)	---

Tabela 5.9: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação calculada

Comparando as tabelas 5.8 e 5.9 notamos que em geral, o uso de taxas de precipitação medidas forneceu resultados menos otimistas do que os obtidos com os valores da Recomendação 837-3.

	EQ	TA	TM	ST
EQ	62,5% (8)	62,5% (16)	62,5% (8)	62,5% (8)
TA	87,5% (16)	100% (8)	87,5% (8)	75% (8)
TM	75% (8)	75% (8)	---	100% (4)
ST	100% (8)	100% (8)	100% (4)	---

Tabela 5.10: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação medida e polarização vertical

	EQ	TA	TM	ST
EQ	62,5% (8)	62,5% (16)	62,5% (8)	62,5% (8)
TA	56,25% (16)	50% (8)	50% (8)	62,5% (8)
TM	50% (8)	50% (8)	---	75% (4)
ST	100% (8)	100% (8)	100% (4)	---

Tabela 5.11: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação medida e polarização horizontal

	EQ	TA	TM	ST
EQ	75% (8)	75% (16)	75% (8)	75% (8)
TA	93,75% (16)	100% (8)	100% (8)	87,5% (8)
TM	100% (8)	75% (8)	---	100% (4)
ST	100% (8)	100% (8)	100% (4)	---

Tabela 5.12: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação calculada e polarização vertical

	EQ	TA	TM	ST
EQ	62,5% (8)	62,5% (16)	62,5% (8)	62,5% (8)
TA	56,25% (16)	75% (8)	75% (8)	75% (8)
TM	75% (8)	75% (8)	---	75% (4)
ST	100% (8)	100% (8)	100% (4)	---

Tabela 5.13: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação calculada e polarização horizontal

Continuando com um melhor detalhamento, as tabelas 5.10 a 5.13 analisam o efeito da polarização, mostrando que a percentagem dos valores de enlaces viáveis com polarização vertical se mostra maior do que com a polarização horizontal. O que já se era esperado visto em análises anteriores, onde o comportamento da indisponibilidade por chuvas com polarização vertical possui níveis inferiores do que com a polarização horizontal.

	EQ	TA	TM	ST
EQ	100% (4)	100% (8)	100% (4)	100% (4)
TA	100% (8)	100% (4)	100% (4)	100% (4)
TM	100% (4)	100% (4)	---	100% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.14: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação medida e Satélite Hipotético

	EQ	TA	TM	ST
EQ	100% (4)	100% (8)	100% (4)	100% (4)
TA	100% (8)	100% (4)	100% (4)	100% (4)
TM	100% (4)	100% (4)	---	100% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.15: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação medida e Satélite Brasil 1 (T)

	EQ	TA	TM	ST
EQ	50% (4)	50% (8)	50% (4)	50% (4)
TA	25% (8)	50% (4)	25% (4)	0% (4)
TM	0% (4)	0% (4)	---	50% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.16: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação medida e Satélite Satmex 5

	EQ	TA	TM	ST
EQ	0% (4)	0% (8)	0% (4)	0% (4)
TA	62,5% (8)	50% (4)	50% (4)	75% (4)
TM	50% (4)	50% (4)	---	100% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.17: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação medida e Satélite Atlantic Bird 2

	EQ	TA	TM	ST
EQ	100% (4)	100% (8)	100% (4)	100% (4)
TA	100% (8)	100% (4)	100% (4)	100% (4)
TM	100% (4)	100% (4)	---	100% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.18: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação calculada e Satélite Hipotético

	EQ	TA	TM	ST
EQ	100% (4)	100% (8)	100% (4)	100% (4)
TA	100% (8)	100% (4)	100% (4)	100% (4)
TM	100% (4)	100% (4)	---	100% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.19: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação calculada e Satélite Brasil 1 (T)

	EQ	TA	TM	ST
EQ	75% (4)	75% (8)	75% (4)	75% (4)
TA	37,5% (8)	50% (4)	50% (4)	25% (4)
TM	50% (4)	0% (4)	---	50% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.20: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação calculada e Satélite Satmex 5

	EQ	TA	TM	ST
EQ	0% (4)	0% (8)	0% (4)	0% (4)
TA	75% (8)	100% (4)	100% (4)	100% (4)
TM	100% (4)	100% (4)	---	100% (2)
ST	100% (4)	100% (4)	100% (2)	---

Tabela 5.21: Indisponibilidade por chuvas e rec. P.816-8: taxa de precipitação calculada e Satélite Atlantic Bird 2

As tabelas 5.14 a 5.21, detalham a porcentagem de enlaces viáveis por tipo de satélite utilizado. Informando que em ambas taxas de precipitação (calculada e medida), os Satélites Brasil 1 (T) e Hipotético possuem 100% de enlaces viáveis, enquanto para os Satélites Satmex 5 e Atlantic Bird 2 a porcentagem de viabilidade de enlaces é menor.

Como os Satélites Brasil 1 (T) e Hipotético estão localizados em cima do Brasil e os Satélites Satmex 5 e Atlantic Bird 2 estão localizados em cima do Oceano Pacífico e em cima do Oceano Atlântico respectivamente, as estações terrenas transmissoras e receptoras possuem ângulos de elevação maiores para os satélites localizados acima do Brasil e ângulos menores para os satélites localizados acima dos oceanos Pacífico e Atlântico. Portanto o percurso do sinal das estações terrenas para os satélites Satmex 5 e Atlantic Bird 2 é maior e assim sofrem mais atenuação por chuvas fornecendo, neste caso, menores indisponibilidades e um maior percentual de enlaces viáveis.

5.4. Simulações – Cenário 2

Esta análise possui o mesmo teor da anterior, tendo sido utilizado o satélite PAS-9, e as mesmas 6 localidades do Cenário 1. As diferenças residem no sistema (DVBS – com alta taxa de transmissão), pelo uso somente de uma taxa de precipitação medida pelo CETUC e pela utilização do Modelo CETUC (modelo regional de atenuação por chuvas).

5.4.1. Resultados

Da mesma forma como no caso do Cenário 1, foi analisada a influência da polarização, comparadas as indisponibilidades estimadas com dois modelos de atenuação por chuvas (P.618-8 e CETUC) e avaliado o excesso de indisponibilidade por chuvas.

Todos os resultados de indisponibilidade por chuvas obtidos no estudo se encontram no anexo C.

5.4.1.1. Polarização Horizontal x Polarização Vertical

O gráfico mostrado na Figura 5.23 mostra o comportamento da indisponibilidade com a polarização prevista com o modelo P.618-8. Um gráfico semelhante foi obtido com o modelo CETUC.

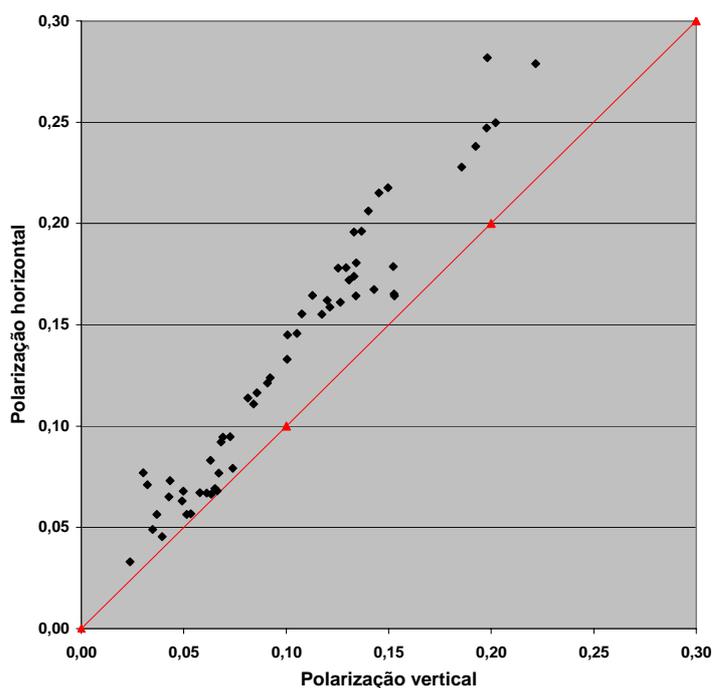


Figura 5.23: Indisponibilidade por chuvas e polarização: modelos rec. P.618-8

A Figura 5.24 apresenta um histograma com as indisponibilidades por chuvas com a polarização prevista com o modelo P.618-8. A análise neste cenário possui o mesmo caráter da analisada no cenário 1, onde pode ser visto que em classes com indisponibilidades por chuva inferiores o UIT-R atual possui um

número maior de casos do que o modelo CETUC. Concluído que o modelo UIT-R é mais otimista do que o modelo CETUC.

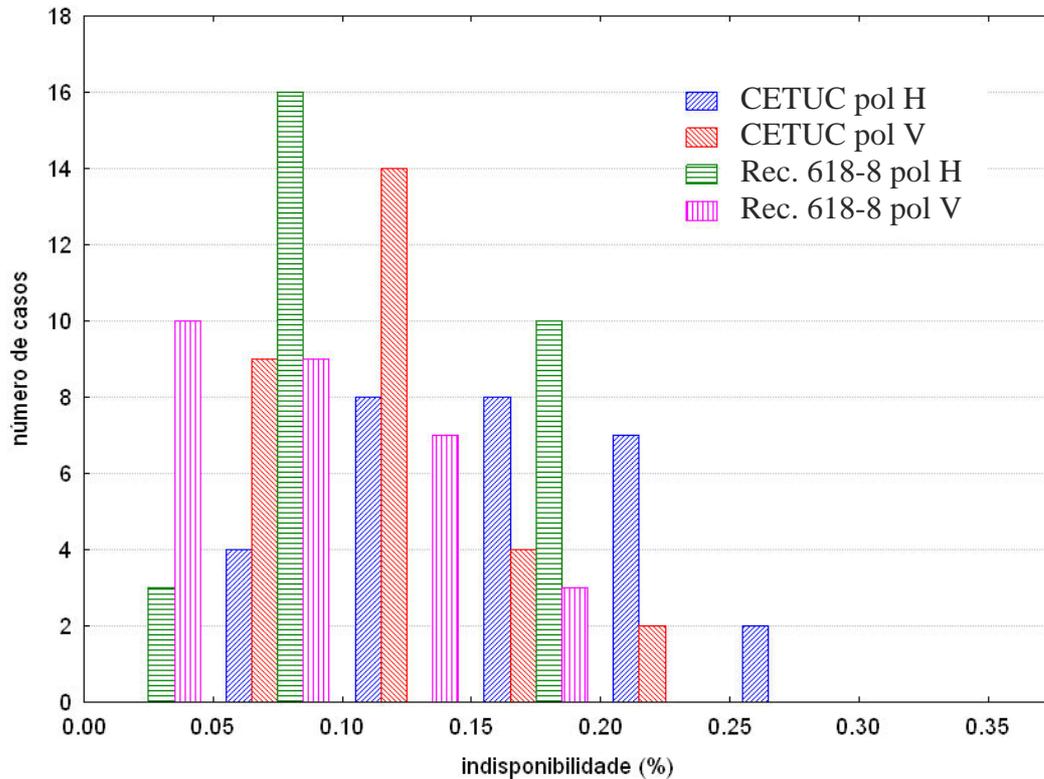


Figura 5.24: Indisponibilidade por chuvas, Modelos rec. P.618-8 e CETUC e polarização: taxa de precipitação medida

5.4.1.2. Modelo do CETUC x Modelo P.618-8

A Figura 5.25 contém os resultados da indisponibilidade por chuvas estimada pelo modelo CETUC e pela versão atual do modelo recomendado pela UIT-R. É possível concluir que os valores de indisponibilidade por chuvas obtidos quando se utiliza o modelo atual da UIT-R são inferiores aos que resultam do uso do modelo CETUC para os valores da taxa de precipitação $R_{0,01}$ medidos. Isto significa que o modelo de atenuação por chuvas atualmente recomendado pela UIT-R apresenta-se otimista quando comparado com o modelo CETUC na estimativa da indisponibilidade por chuvas de enlaces via-satélite.

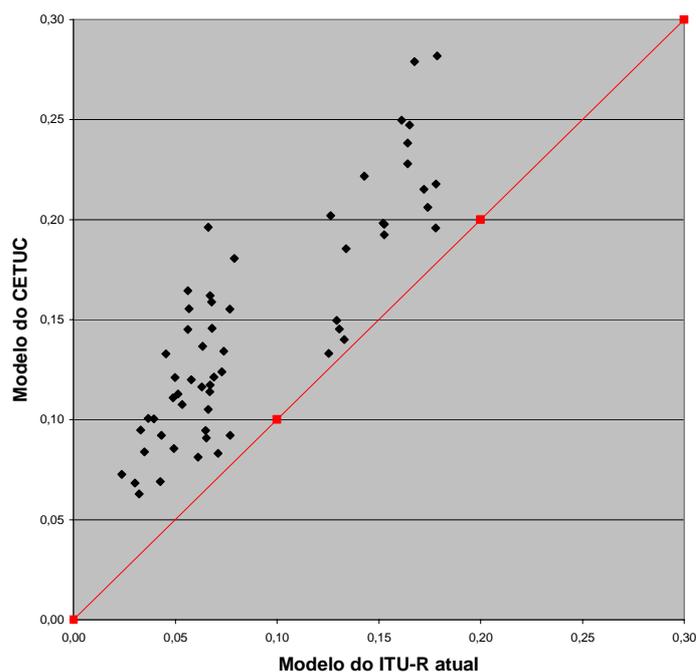


Figura 5.25: Indisponibilidade e modelos P.618-8 e CETUC com taxa de precipitação medida

Já a Figura 5.26 permite comparar a razão dos modelos (neste caso entre o modelo UIT-R atual e o modelo CETUC) e o modelo CETUC, mostrando o mesmo comportamento dos valores de indisponibilidade por chuvas em cada enlace do cenário 1.

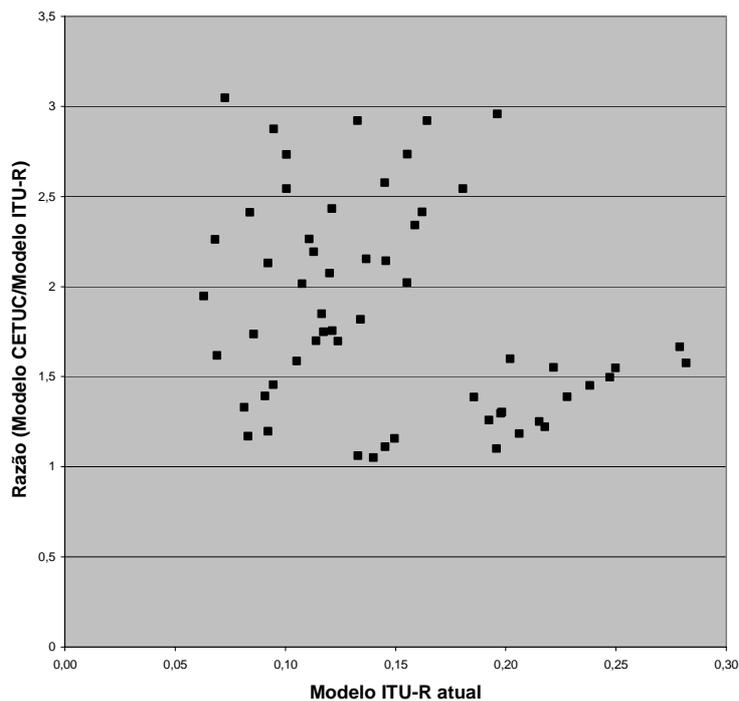


Figura 5.26: Indisponibilidade por chuva, razão e Modelo UIT-R atual com taxa de precipitação medida

5.4.1.3. Indisponibilidade Estimada x Indisponibilidade Máxima

Ambos modelos, do UIT-R atual e do CETUC, prevêm uma porcentagem total de enlaces inviáveis utilizando o satélite PAS-9, ou seja, com indisponibilidade acima da máxima recomendada, indicando que satélites de alta taxa de transmissão na banda Ku não são adequados para a cobertura no Brasil.