

1. BRUSSAARD,G.;WATSON, P. A.. **Atmospheric modeling and millimeter wave propagation**. Chapman & Hall, 1995.
2. OLSEN, R. L.; ROGERS, D. V.; HODGE, B. B.. **The aR.b relation in the calculation of rain attenuation**. IEEE Trans. Ant. Prop., v.AP-26, p. 318-329, 1978.
3. **Specific attenuation model for rain for use in prediction methods**. International Telecommunications Union Recommendation ITU-R P.838-1.
4. GUNN, R.; KINZER, G. D. **The terminal velocity of fall for water droplets in stagnant air**. J. Meteor., n. 6, p. 243-248,1949.
5. LAWS, J.O.; PARSONS, D. A. **The relation of raindrop-size to intensity**. Trans. Amer. Geophys. Union , v.24, p. 452-460, 1943.
6. HOUZE, R. A. Jr. **Cloud clusters and large scale vertical motions in the tropics**. J. Meteorol. Sec. Jap., n. 60, p. 396-410, 1984.
7. HOUZE, R. A. Jr. **Observed structure of mesoscale convective systems and implications for large-scale heating**. Quart. J. Roy. Meteorol. Soc., n. 115, p. 425-461, 1989.
8. HOUZE, R. A. Jr.; SCHUMACHER, C. **Stratiform rain in the tropics as seen by the TRMM precipitation radar**. Journal Climate, n.16, p.1739-1756, 2003.
9. NEGRI, A. J.; ANAGNOSTOU, E. N.; ADLER, R. F. **A 10-year climatology of Amazonian rainfall derived from passive microwave satellite observations**. Journal of Applied Meteorology, v. 39, n.1, p. 42-56, 2000.
10. ANAGNOSTOU, E. N.; NEGRI, A. J.; ADLER, R. F. **A satellite infrared technique for diurnal rainfall variability studies**. Journal of Geophysical Research, v. 104, n. D24, p. 31477-31488, 1999.

11. NEGRI, A. J.; XU,L.; ADLER, R. F. **A TRMM-calibrated infrared rainfall algorithm applied over Brazil**. Journal of Geophysical Research, v. 07, n.D20, p. 8048-8062, 2002.
12. Disponível em: <
http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/gallery/tev/pdf/tev_06.pdf>. Acesso em:
 01 mai. 2007.
13. SILVA MELLO, L. A. R. et al. **Differential rain attenuation in converging link**. SBMO/IEEE MTT-S International Microwave and Opelectronics Conference Proceeding, Rio de Janeiro, 1995.
14. SWEENEY, D. G.; BOSTIAN, C. W. **The dynamic of rain-induced fades**. IEEE Transaction on Antennas and Propagation, v.40, n.3, 1992.
15. VAN DE KAMP, M. **Statistical analysis of rain fade slope**. IEEE Transactions on Antennas and propagation, v.51, n.8, p.1750-1759, 2003.
16. COSTA, E. et al. **Estimation of the parameters of a rain cell model from attenuation measurements in converging terrestrial links**. SBMO/IEEE MTT-S IMOC'95 Proceedings, p. 540-545, 1995.
17. AMAYA, C. **Analysis of fade duration along Earth-space paths in the tropics**. EuCaP 2007, Inglaterra, 2007.
18. PAN, Q. W.; ALLNUT, J. E.; TSUI, C. **Satellite-to-Earth 12 GHz fade slope analysis at a tropical location**. Antenna and Propagation Society International Symposium, v.4A, p.51-54, 2005.
19. VAN DE KAMP, M.; CASTANET,L. **Fade dynamic review**. COST Action 280, 1 International Workshop, PM3018, 2002.
20. **Performance and availability, interference objectives and analysis, effects of propagation, and terminology**. International Telecommunications Union Recommendation ITU-R WP9A. Disponível em: < <http://www.itu.int/md/R00-WP9A-C/en>>. Acesso em: 09 fev. 2008.
21. MATRICCIANI, E. **Prediction of fade durations due to rain in satellite communication systems**. Radio Science, v.32(3), p.935-941, 1997.

22. MATRICCIANI, E. **Physical-mathematical model of the dynamics of rain attenuation based on rain time series and a two-layer vertical structure of precipitation.** Radio Science, v.31, p.281-295, 1996.
23. HÉDER, B.; SINGLIAR, R.; BITÓ, J. **Fade dynamic investigation applying statistics of fade duration and level crossing rate.** Proceedings of World Academy of Science, Engineering and technology, v.7, p.97-100, 2005.
24. COST205 **Influence of atmosphere on radiopropagation on satellite earth paths at frequencies above 10 GHz.** COST Project 205, Report EUR 9923 EN, 1985.
25. PARABONI, A.; RIVA, C. **A new method for the prediction of fade duration statistics in satellite links above 10 GHz.** Int. Journal Satellite Communication, v.12, p.387-394, 1994.
26. Rec. ITU-R P.1623 **Prediction method of fade dynamics on Earth-space paths.** Radiocommunication Bureau, Genebra, 2003.
27. ITU-R SG3 **Working document toward a revision to the fade duration prediction method in recommendation ITU-R P.1623,** Doc. 3M/36, ITU-R SG3, Estados Unidos, 2003.
28. BRÂTEN, L.; AMAYA, C.; ROGERS, D. **Fade duration on Earth-space links: dependence on path and climatic parameters.** Proc. URSI-CLIMPARA, p. 107-111, Budapeste, 2001.
29. LAKKLA, R.; MCCORMICK, K.; ROGERS, D. **12-GHz fade duration statistics on Earth-space paths in South-East Asia.** Proc. URSI-CLIMPARA, p. 167-170, Otawa, 1998.
30. BRÂTEN, L.; LINDHOLM, B. A; TJELTA, T., **Time dynamic attenuation on a fixed radio communication link at 6 GHz in western Norway,** Report R55/2002, TELENOR, 2002.
31. **Point-to-point and Earth-space propagation.** ITU-R WP3M. Disponível em: < <http://www.itu.int/md/R07-WP3M-C/en>>. Acesso em: 09 fev. 2008.

9 APÊNDICE A

A1. Tabelas de características estatísticas da taxa de variação da atenuação por chuvas nos enlaces satélites e terrestres.

Tabela A1.1 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Mosqueiro.

Enlace Satélite: Mosqueiro / PA

Características:

Latitude: 01°27' S

Longitude: 48°29' W

Altitude: 24 m

Frequência [GHz]: 11,4

Polarização: Circular

Elevação: 89°

Nível de atenuação	Período de análise: 04/1996 a 01/1997		Período de análise: 02/1997 a 01/1998		Período de análise: 02/1998 a 10/1998	
excedido	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média	Desvio padrão	Média
[dB]	[dB/s]	[dB/s]	[dB/s]	[dB/s]	[dB/s]	[dB/s]
5	0,059935	-0,025522	0,06651	-0,025570	0,06894	-0,026272
6	0,067025	-0,025473	0,07469	-0,026105	0,077025	-0,025394
7	0,075105	-0,025435	0,077655	-0,026693	0,08353	-0,024554
8	0,080865	-0,025528	0,079845	-0,027565	0,093965	-0,023682
9	0,08449	-0,025567	0,080425	-0,027599	0,10176	-0,022917
10	0,090295	-0,024497	0,08279	-0,027179	0,10627	-0,021898
11	0,09658	-0,022845	0,08267	-0,026873	0,11051	-0,021571
12	0,099275	-0,022368	0,088105	-0,026334	0,11046	-0,020721
13	0,102425	-0,022374	0,0877	-0,025985	0,107695	-0,019616
14	0,10366	-0,022666	0,084545	-0,024598	0,10708	-0,019154
15	0,10541	-0,022864	0,08408	-0,022429	0,10852	-0,017545
16	0,10544	-0,022477	0,08089	-0,020883	0,10312	-0,015729
17	0,104845	-0,021188	0,089335	-0,021639	0,10658	-0,014667
18	0,105145	-0,020045	0,096775	-0,023481	0,098035	-0,013353
19	0,100725	-0,018395	0,097825	-0,025974	0,09154	-0,012695
20	0,09971	-0,015481	0,09456	-0,030658	0,089725	-0,011989
21	0,09642	-0,012079	0,085895	-0,033198	0,09157	-0,011362
22	0,09177	-0,010287	0,08602	-0,031449	0,08459	-0,010097
23	0,099475	-0,010098	0,088915	-0,024124	0,08119	-0,009456
24	0,10619	-0,009648	0,105305	-0,007471	0,07046	-0,009855
25	0,090755	-0,012653	0,11061	0,0036244	0,06338	-0,007137
26	0,07901	-0,013505	0,09983	0,0022983	0,05275	-0,008836
27	0,070135	-0,015601	0,107775	0,0084451	0,052825	-0,006138
28	0,063855	-0,017244	0,099045	0,0091285	0,0485055	-0,014815
29	0,05965	-0,017458	0,099415	0,024564		
30	0,05849	-0,017413	0,092045	0,019333		
31	0,059295	-0,014965	0,08857	0,016900		
32	0,05886	-0,014729	0,084255	0,012866		
33	0,05906	-0,014957				
34	0,05817	-0,017613				
35	0,055785	-0,020821				

Tabela A1.2 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace satélite – Rio de Janeiro.

Enlace Satélite: Rio de Janeiro/ RJ

Características:

Latitude: 22°55' S Longitude: 43°30' W Altitude: 30 m

Frequência [GHz]: 11,4 Polarização: Circular Elevação: 63°

Nível de atenuação Período de análise: 01/1998 a 12/1998

excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
5	0,0437965	-0,027502
6	0,0469655	-0,026957
7	0,05165	-0,025993
8	0,055795	-0,025954
9	0,057555	-0,026390
10	0,05791	-0,026106
11	0,056035	-0,025511
12	0,05658	-0,025306
13	0,05502	-0,025228
14	0,05651	-0,025980
15	0,06333	-0,025419
16	0,064675	-0,024384
17	0,06067	-0,023494
18	0,05764	-0,022689
19	0,0489615	-0,022796
20	0,0455645	-0,023771
21	0,09247	-0,012226
22	0,09419	-0,012229
23	0,09418	-0,012331
24	0,1106	-0,013621
25	0,123185	-0,018415
26	0,097985	-0,027690
27	0,08097	-0,029349
28	0,08226	-0,028577
29	0,07009	-0,031448
30	0,05983	-0,031832
31	0,130765	-0,045282
32	0,136585	-0,043296
33	0,13922	-0,042132
34	0,14299	-0,041268
35	0,144375	-0,038005
36	0,148075	-0,034295

Tabela A1.3 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace satélite – Curitiba.

Enlace Satélite: Curitiba / PR

Características:

Latitude: 25°25' S

Longitude: 49°17' W

Altitude: 915 m

Frequência [GHz]: 11,4

Polarização: Circular

Elevação: 60°

Nível de atenuação excedido [dB]	Período de análise: 03/1997 a 12/1997		Período de análise: 01/1998 a 01/1999	
	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
5	0,05965	-0,024741	0,05381	-0,028132
6	0,063805	-0,024802	0,065605	-0,027278
7	0,071305	-0,025011	0,07797	-0,024996
8	0,08063	-0,027372	0,085845	-0,022679
9	0,08366	-0,030816	0,09568	-0,020861
10	0,087905	-0,032664	0,103555	-0,020117
11	0,089825	-0,031219	0,1043	-0,020868
12	0,091205	-0,031289	0,108605	-0,021233
13	0,094315	-0,032339	0,10503	-0,022229
14	0,09529	-0,030790	0,10774	-0,020828
15	0,0954	-0,025728	0,1109	-0,018135
16	0,090095	-0,019689	0,101045	-0,018049
17	0,10217	-0,015380	0,103275	-0,015340
18	0,10139	-0,010965	0,10311	-0,013809
19	0,10425	-0,0065815	0,09863	-0,013444
20	0,103235	-0,012724	0,10139	-0,011341
21	0,118985	-0,0040696	0,104035	-0,0084318
22	0,14881	0,014229	0,104155	-0,0081696
23	0,15669	0,019664	0,104205	-0,0096646
24	0,15903	0,021388	0,096275	-0,012946
25	0,1441	0,0039163	0,083135	-0,019298
26	0,148865	0,014992	0,07649	-0,021646
27	0,153725	0,015795	0,06532	-0,021697
28	0,158825	0,016413		
29	0,16401	0,016729		
30	0,16918	0,016653		
31	0,17428	0,016153		
32	0,174555	0,013695		
33	0,17228	0,0077683		
34	0,17026	0,0045982		
35	0,17725	-0,0036147		
36	0,16431	-0,0047106		

Tabela A1.4 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace satélite – Porto Alegre.

Enlace Satélite: Porto Alegre / RS

Características:

Latitude: 30°03' S Longitude: 51°10' W Altitude: 75 m

Frequência [GHz]: 11,4 Polarização: Circular Elevação: 55°

Nível de Período de análise: 02/1998 a 02/1999

atenuação

excedido [dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
5	0,053965	-0,027284
6	0,06067	-0,027684
7	0,0677	-0,027411
8	0,07187	-0,026454
9	0,079755	-0,023708
10	0,09024	-0,021022
11	0,10411	-0,021473
12	0,10659	-0,020090
13	0,09879	-0,022462
14	0,09753	-0,023920
15	0,09977	-0,023670
16	0,10159	-0,029242
17	0,10376	-0,036546
18	0,08492	-0,047935
19	0,069355	-0,056812
20	0,058185	-0,064033
21	0,0360975	-0,081129
22	0,0152535	-0,078984
23	0,0132475	-0,077905
24	0,0155065	-0,077918

Tabela A1.5 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – SP Bradesco.

Enlace Terrestre: Bradesco / SP – código 061

Características:

Latitude: 23°32' S

Longitude: 46°37' W

Frequência [GHz]: 14,55

Polarização: Horizontal

Distância [km]: 12,8

Nível de atenuação excedido [dB]	Período de análise: 02/1994 a 02/1995	Período de análise: 03/1995 a 03/1996
	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]
15	0,0476835 -0,026113	0,05474 -0,028397
16	0,0467595 -0,026148	0,055095 -0,028469
17	0,046257 -0,025811	0,05632 -0,028428
18	0,0452335 -0,025486	0,05528 -0,028036
19	0,044587 -0,025509	0,05581 -0,027832
20	0,0436525 -0,026253	0,05797 -0,028037
21	0,042318 -0,025556	0,0577 -0,027637
22	0,0420835 -0,024412	0,05954 -0,027241
23	0,042438 -0,023321	0,06114 -0,026879
24	0,0424015 -0,021946	0,062565 -0,026743
25	0,0409635 -0,021295	0,06455 -0,026658
26	0,0397975 -0,019207	0,066455 -0,026966
27	0,039165 -0,018328	0,06742 -0,026928
28	0,037591 -0,016746	0,07006 -0,026130
29	0,0393875 -0,017424	0,071225 -0,025112
30	0,041969 -0,017800	0,07004 -0,024536
31	0,0413025 -0,017366	0,069075 -0,023652
32	0,038658 -0,014048	0,06873 -0,023175
33	0,0406115 -0,016102	0,07129 -0,022880
34	0,0417885 -0,017696	0,067915 -0,022964
35	0,043503 -0,018771	0,06355 -0,021171
36		0,061785 -0,020401
37		0,0646 -0,020260
38		0,062605 -0,021147

Tabela A1.6 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – Cenesp 15.

Enlace Terrestre: Cenesp 15 / SP – código 063

Características:

Latitude: 23°32' S

Longitude: 46°37' W

Frequência [GHz]: 14,55

Polarização: Horizontal

Distância [km]: 12,78

Nível de atenuação excedido[dB]	Período de análise: 02/1994 a 02/1995	Período de análise: 03/1995 a 03/1996
	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]
15	0,054595 -0,028762	0,058665 -0,026763
16	0,05412 -0,029019	0,058615 -0,026906
17	0,053795 -0,028773	0,059705 -0,026901
18	0,053365 -0,028596	0,05979 -0,026982
19	0,05283 -0,028241	0,059135 -0,027100
20	0,0529 -0,028056	0,059375 -0,026763
21	0,05221 -0,027373	0,058335 -0,026134
22	0,052355 -0,027477	0,056675 -0,026145
23	0,05187 -0,027451	0,054595 -0,026408
24	0,05189 -0,027345	0,053785 -0,027147
25	0,0499205 -0,027075	0,053585 -0,027487
26	0,0489365 -0,027476	0,05361 -0,027326
27	0,049223 -0,028061	0,052115 -0,027215
28	0,0486555 -0,027652	0,05121 -0,026658
29	0,0468525 -0,027269	0,0499105 -0,026264
30	0,046001 -0,027579	0,0491295 -0,025863
31	0,043875 -0,027110	0,04851 -0,026266
32	0,0418115 -0,026735	0,0465965 -0,026438
33	0,040611 -0,026393	0,0438645 -0,027486
34	0,038752 -0,026575	0,042204 -0,026983
35	0,039991 -0,026569	0,041109 -0,027669
36	0,0390555 -0,026067	0,041492 -0,027319
37	0,0383135 -0,024362	0,039822 -0,027385
38	0,035387 -0,023716	0,0367545 -0,028944
39	0,0355045 -0,024234	0,0353 -0,029395
40		0,0323725 -0,026546

Tabela A1.7 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – SP Scania.

Enlace Terrestre: Scania / SP – código 065

Características:

Latitude: 23°32' S

Longitude: 46°37' W

Frequência [GHz]: 14,50

Polarização: Vertical

Distância [km]: 18,38

Nível de atenuação excedido[dB]	Período de análise: 02/1994 a 02/1995	Período de análise: 03/1995 a 03/1996
	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]
15	0,05983 -0,028931	0,060385 -0,029994
16	0,06203 -0,029675	0,06143 -0,030521
17	0,063485 -0,029977	0,06257 -0,030916
18	0,06459 -0,030041	0,06438 -0,031187
19	0,06548 -0,029628	0,06571 -0,031401
20	0,067115 -0,029404	0,06737 -0,031023
21	0,066815 -0,029538	0,068435 -0,030931
22	0,067465 -0,029710	0,06981 -0,031214
23	0,06686 -0,029895	0,07106 -0,031132
24	0,06841 -0,029953	0,07064 -0,030873
25	0,068955 -0,030366	0,07242 -0,031211
26	0,06893 -0,031033	0,0729 -0,031803
27	0,068945 -0,031720	0,07355 -0,032294
28	0,074065 -0,032667	0,0736 -0,032840
29	0,081735 -0,032948	0,073015 -0,032979
30	0,085555 -0,032430	0,07201 -0,032827
31	0,08764 -0,032308	0,071315 -0,032591
32	0,09328 -0,032690	0,06997 -0,031983
33	0,092985 -0,032271	0,071075 -0,032590
34	0,09822 -0,033932	0,07168 -0,033955
35	0,09738 -0,035350	0,076455 -0,035838
36	0,11226 -0,034676	0,077615 -0,037767
37	0,120575 -0,035951	0,080625 -0,037679
38	0,145415 -0,042715	0,0871 -0,036125
39	0,13824 -0,045410	0,08946 -0,037534
40	0,116285 -0,049364	0,086365 -0,040738

Tabela A1.8 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – SP Barueri.

Enlace Terrestre: Barueri / SP - código 066

Características:

Latitude: 23°32' S

Longitude: 46°37' W

Frequência [GHz]: 14,53

Polarização: Vertical

Distância [km]: 21,69

Nível de atenuação excedido[dB]	Período de análise: 02/1994 a 02/1995	Período de análise: 03/1995 a 09/1996
	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]
15	0,05052 -0,028096	0,0482595 -0,028842
16	0,05079 -0,027878	0,0485125 -0,028990
17	0,05062 -0,027549	0,0484635 -0,029233
18	0,050165 -0,027271	0,0483045 -0,029248
19	0,049935 -0,027332	0,048279 -0,029112
20	0,049543 -0,027406	0,048317 -0,029073
21	0,048948 -0,027230	0,0480455 -0,028938
22	0,049368 -0,027108	0,047803 -0,029043
23	0,049274 -0,027450	0,047205 -0,029308
24	0,048996 -0,027569	0,0460355 -0,029599
25	0,0482015 -0,027759	0,044921 -0,029862
26	0,0470115 -0,027131	0,0439925 -0,030274
27	0,045815 -0,027294	0,0427915 -0,030200
28	0,0451095 -0,026839	0,0411765 -0,030317
29	0,044065 -0,026601	0,039528 -0,030281
30	0,0428205 -0,026404	0,0381545 -0,029890
31	0,0416745 -0,025970	0,0372635 -0,028938
32	0,0403275 0,025650	0,0353765 -0,029025
33	0,038242 -0,025088	0,033914 -0,028774
34	0,0371605 -0,025246	0,032571 -0,028212
35	0,035081 -0,026160	0,0323265 -0,027544
36	0,0319795 -0,026450	0,0308115 -0,027359
37	0,029656 -0,026933	0,0295795 -0,026627
38	0,0298055 -0,027861	0,027465 -0,025853
39	0,0286995 -0,028430	0,0226 -0,024924
40	0,0259675 -0,027080	0,011034 -0,025139

Tabela A1.9 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – SP Shell.

Enlace Terrestre: Shell / SP – código 067

Características:

Latitude: 23°32' S

Longitude: 46°37' W

Frequência [GHz]: 18,59

Polarização: Vertical

Distância [km]: 7,48

Nível de atenuação excedido[dB]	Período de análise: 02/1994 a 02/1995	Período de análise: 03/1995 a 03/1996
	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]
15	0,059605 -0,029226	0,058245 -0,028550
16	0,057715 -0,028906	0,05704 -0,028262
17	0,061345 -0,029279	0,055835 -0,028154
18	0,06051 -0,029022	0,05578 -0,027758
19	0,066895 -0,029893	0,053505 -0,027273
20	0,066605 -0,030002	0,05579 -0,027553
21	0,069135 -0,029758	0,0534 -0,027335
22	0,07486 -0,029884	0,051895 -0,027135
23	0,073515 -0,029528	0,05032 -0,026895
24	0,07678 -0,029400	0,0480935 -0,026777
25	0,076025 -0,029004	0,0472995 -0,026849
26	0,08325 -0,028794	0,0453265 -0,026663
27	0,08621 -0,028620	0,0437695 -0,026431
28	0,08651 -0,028688	0,0424775 -0,026263
29	0,08891 -0,028281	0,041111 -0,025865
30	0,084565 -0,028058	0,039837 -0,025708
31	0,094105 -0,028290	0,037971 -0,025612
32	0,095585 -0,028593	0,036882 -0,025421
33	0,09428 -0,027711	0,0352945 -0,025246
34	0,095505 -0,027166	0,0334715 -0,025336
35	0,089585 -0,026702	0,031592 -0,025606
36	0,088155 -0,027036	0,0296315 -0,025547
37	0,075405 -0,027488	0,0308045 -0,025962
38		0,029123 -0,025895

Tabela A1.10 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – SP Paranapiacaba.

Enlace Terrestre: Paranapiacaba / SP – código 068

Características:

Latitude: 23°32' S

Longitude: 46°37' W

Frequência [GHz]: 14,52

Polarização: Horizontal

Distância [km]: 42,99

Nível de atenuação excedido[dB]	Período de análise: 02/1994 a 02/1995	Período de análise: 03/1995 a 03/1996
	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]	Desvio padrão [dB/s] Média [dB/s]
15	0,046545 -0,027703	0,0473825 -0,027322
16	0,046911 -0,027577	0,047899 -0,027405
17	0,0470815 -0,027593	0,047957 -0,027437
18	0,046733 -0,027437	0,048172 -0,027458
19	0,046388 -0,027315	0,048355 -0,027499
20	0,04591 -0,027241	0,0478975 -0,027487
21	0,045479 -0,027214	0,047589 -0,027353
22	0,0453305 -0,027003	0,047251 -0,027422
23	0,0448555 -0,026729	0,0463785 -0,027267
24	0,043937 -0,026517	0,045651 -0,027112
25	0,0431575 -0,026457	0,0445735 -0,026903
26	0,0426095 -0,026053	0,04351 -0,026723
27	0,041516 -0,026016	0,0423875 -0,026690
28	0,0402215 -0,026093	0,041568 -0,026578
29	0,039246 -0,025785	0,0405085 -0,026442
30	0,038152 -0,025785	0,039323 -0,026418
31	0,036885 -0,025866	0,0383055 -0,026315
32	0,035639 0,026233	0,037552 0,025970
33	0,0346275 -0,026436	0,0363785 -0,025669
34	0,032814 -0,026550	0,0350405 -0,025907
35	0,031686 -0,026395	0,034287 -0,025908
36	0,0301615 -0,026163	0,033124 -0,025860
37	0,028031 -0,026185	0,0314345 -0,025914
38	0,0243785 -0,025899	0,0297345 -0,025449
39	0,010939 -0,024830	0,0277905 -0,025378
40		0,02493 -0,025252

Tabela A1.11 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – DF DPF 06

Enlace Terrestre: DPF 06 / DF – código 112

Características:

Latitude: 15°:47':46,2'' S

Longitude: 47°:53' :20,2'' W

Frequência [GHz]: 23

Polarização: Vertical

Distância [km]: 6,73

Nível de atenuação excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
15	0,053195	-0,030542
16	0,056245	-0,031111
17	0,055705	-0,031172
18	0,05649	-0,031153
19	0,0577	-0,031243
20	0,060145	-0,031390
21	0,06379	-0,031426
22	0,066115	-0,031688
23	0,0673	-0,031480
24	0,066695	-0,031638
25	0,068165	-0,031989
26	0,069755	-0,031732
27	0,068925	-0,031371
28	0,06733	-0,030624
29	0,06793	-0,030853
30	0,066515	-0,031436
31	0,071815	-0,032546
32	0,07699	-0,033107
33	0,08366	-0,034395
34	0,081835	-0,034310
35	0,07792	-0,034564
36	0,08203	-0,034961
37	0,0805	-0,033492
38	0,074625	-0,034199
39	0,07412	-0,031956

Tabela A1.12 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – DF Ministério da Fazenda .

Enlace Terrestre: Ministério da Fazenda / DF – código 212

Características:

Latitude: 15°:47':46,2'' S

Longitude: 47°:53':20,2'' W

Frequência [GHz]: 38

Polarização: Horizontal

Distância [km]: 1,21

Nível de atenuação excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
15	0,06849	-0,030338
16	0,07217	-0,030475
17	0,07383	-0,030327
18	0,0751	-0,030019
19	0,07792	-0,029761
20	0,080755	-0,029720
21	0,081725	-0,029762
22	0,08361	-0,030337
23	0,086025	-0,031088
24	0,08674	-0,031598
25	0,08756	-0,031658
26	0,091155	-0,032349
27	0,093555	-0,032752
28	0,09308	-0,033589
29	0,09308	-0,033589
30	0,0961	-0,034468
31	0,100405	-0,035004
32	0,10494	-0,035517
33	0,10494	-0,035517
34	0,102165	-0,038156
35	0,098305	-0,039367
36	0,09191	-0,038217
37	0,08506	-0,036669

Tabela A1.13 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – DF ESAF.

Enlace Terrestre: ESAF / DF – código 312

Características:

Latitude: 15°:47':46,2'' S

Longitude: 47°:53':20,2'' W

Frequência [GHz]: 15 Polarização: Vertical Distância [km]: 10,53

Nível de Período de análise: 08/2004 a 07/2005

atenuação excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
15	0,0420265	-0,028097
16	0,0422925	-0,028494
17	0,0441155	-0,028506
18	0,044633	-0,028264
19	0,0445935	-0,027272
20	0,0445075	-0,026797
21	0,044751	-0,026064
22	0,044484	-0,025336
23	0,045715	-0,026423
24	0,044486	-0,027117
25	0,0426155	-0,027188
26	0,040864	-0,028106
27	0,0396065	-0,029280
28	0,0399305	-0,029539
29	0,037508	-0,029838
30	0,0348885	-0,029922
31	0,033794	-0,029684
32	0,0334715	-0,030645
33	0,0326155	-0,030586
34	0,0307225	-0,029546
35	0,0303995	-0,027760
36	0,0293135	-0,027995
37	0,0284745	-0,029017
38	0,0301445	-0,025509
39	0,0289375	-0,025028

Tabela A1.14 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – DF CASSI.

Enlace Terrestre: CASSI / DF – código 412

Características:

Latitude: 15°:47':46,2'' S

Longitude: 47°:53':20,2'' W

Frequência [GHz]: 23

Polarização: Vertical

Distância [km]: 0,76

Nível de atenuação Período de análise: 08/2004 a 07/2005

Nível de atenuação excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
15	0,0362305	-0,029346
16	0,033769	-0,030890
17	0,026465	-0,034218
18	0,026523	-0,033859
19	0,0277705	-0,033797
20	0,028341	-0,033512
21	0,029032	-0,032884
22	0,029029	-0,031703
23	0,027	-0,029881

Tabela A1.15 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – DF CERES.

Enlace Terrestre: CERES / DF – código 512

Características:

Latitude: 15°:47':46,2''S

Longitude: 47°:53':20,2'' W

Frequência [GHz]: 38 Polarização: Vertical Distância [km]: 1,83

Nível de Período de análise: 08/2004 a 07/2005

atenuação excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
15	0,026402	-0,024729
16	0,0260595	-0,024742
17	0,025499	-0,024760
18	0,0246655	-0,024738
19	0,023532	-0,024716
20	0,0238805	-0,024693
21	0,10311	-0,076545
22	0,101235	-0,087633
23	0,100795	-0,087406
24	0,100125	-0,086191
25	0,095475	-0,094656
26	0,093355	-0,097418
27	0,0933	-0,098589
28	0,10238	-0,091946
29	0,114055	-0,089517
30	0,12026	-0,078424
31	0,115995	-0,071154
32	0,10635	-0,076145
33	0,09224	-0,076663
34	0,20307	-0,045050

Tabela A1.16 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – DF STF.

Enlace Terrestre: STF / DF – código 612

Características:

Latitude: 15°:47':46,2'' S

Longitude: 47°:53':20,2'' W

Frequência [GHz]: 23

Polarização: Vertical

Distância [km]: 4,48

Nível de atenuação excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
Período de análise: 08/2004 a 07/2005		
15	0,05028	-0,031158
16	0,05287	-0,030659
17	0,055265	-0,030517
18	0,056105	-0,030515
19	0,05728	-0,030626
20	0,059815	-0,030271
21	0,060485	-0,030120
22	0,061705	-0,030093
23	0,060885	-0,030214
24	0,06145	-0,030645
25	0,062355	-0,031595
26	0,061085	-0,032268
27	0,06111	-0,033494
28	0,064405	-0,034040
29	0,06542	-0,034534
30	0,066725	-0,034535
31	0,06678	-0,033895
32	0,06632	-0,032589
33	0,064975	-0,030993
34	0,06678	-0,029133
35	0,064665	-0,026761
36	0,0608	-0,025493
37	0,05842	-0,024201

Tabela A1.17 – Dados estatísticos da taxa de variação da atenuação por chuvas. Enlace terrestre – DF Projeto BRA.

Enlace Terrestre: Projeto BRA / DF – código 712

Características:

Latitude: 15°:47':46,2'' S

Longitude: 47°:53':20,2'' W

Frequência [GHz]: 23

Polarização: Vertical

Distância [km]:

Nível de atenuação excedido[dB]	Desvio padrão [dB/s]	Média [dB/s]
15	0,0394255	-0,030727
16	0,0416	-0,031037
17	0,0442015	-0,031266
18	0,0470795	-0,031627
19	0,0489965	-0,031495
20	0,0499865	-0,031234
21	0,051065	-0,031185
22	0,052025	-0,031442
23	0,052865	-0,031738
24	0,054445	-0,031901
25	0,055225	-0,031501
26	0,05405	-0,031710
27	0,054495	-0,031766
28	0,055635	-0,031226
29	0,056965	-0,030036
30	0,057315	-0,029277
31	0,057765	-0,027739
32	0,0586	-0,026097
33	0,05714	-0,025273
34	0,055895	-0,024780
35	0,05238	-0,024507
36	0,05085	-0,024653
37	0,0483995	-0,024965
38	0,046193	-0,024086
39	0,044914	-0,026044

10

APÊNDICE B

B1.

Técnicas de compensação da atenuação por chuvas

São três as principais técnicas de compensação da atenuação por chuvas que permitem melhorar a relação sinal ruído na recepção, reduzindo a indisponibilidade de comunicação.

Estas três técnicas são: controle de potência, técnicas de diversidade e técnicas adaptativas. O conhecimento da taxa de variação da atenuação por chuvas permite conhecer em tempo real a distribuição de probabilidade da taxa de variação por nível de atenuação por chuvas. Esta distribuição de probabilidade da taxa permite prever com alguns segundos qual será o próximo estado da chuva e o nível da atenuação: crescente, estável ou decrescente. Conforme o nível de atenuação obtido na predição pode-se acionar uma técnica de compensação de potência, de diversidade ou adaptativa. Um resumo destas técnicas está descrito nos itens B1.1, B1.2 e B1.3.

B1.1.

Controle de potência

Neste caso o princípio é baseado na adaptação do nível de potência transmitido às condições de propagação. Em transmissões com céu claro o controle de potência transmite com o mínimo de potência necessária que garante um sinal de qualidade na recepção. Quando o receptor obtém um sinal atenuado ou degradado o controle de potência do transmissor é informado e ocorre um aumento de potência para compensar esta atenuação.

No caso de radio comunicações via satélites existem dois tipos de compensação de potência. Sistemas com satélites transparentes o controle da potência do enlace é feito considerando o enlace de subida junto com o enlace de descida. Sistemas com satélites regeneradores o controle do enlace de potência é feito apenas com o enlace de subida ou de descida. Nestes sistemas muitas vezes são necessários elementos externos tais como uma estação central que autoriza a ativação do controle de potência.

O controle de potência é limitado pela potência máxima que é limitada pela performance dos amplificadores. Sistemas via satélites geralmente permitem um acréscimo máximo de 2 Watts. Em sistemas de comunicações móveis a potência máxima é menor. Isto implica que o controle de potência por si só não permitirá um controle adequado da atenuação principalmente em regiões tropicais em que a incidência de chuvas convectivas é superior a 50% do total de chuvas. Logo são associadas outras técnicas de compensação ao sistema de controle de potência.

B1.2.

Técnicas de diversidade

Nestas técnicas são utilizados recursos externos que aproveitam condições de propagações mais favoráveis. São feitas modificações na arquitetura do enlace de propagação que permitirão obter uma relação sinal ruído melhor e muitas das vezes evitar a indisponibilidade de comunicação temporária.

Estas técnicas de diversidade não solucionam o problema da comunicação multimídia via satélite no enlace de subida que implicam em exigências de complexidade do sistema e um custo mais elevado.

B1.2.1.

Diversidade de rotas

A diversidade de rota consiste na utilização de outra antena com outro azimute, na transmissão e/ou recepção do sinal, sempre que a atenuação por chuva medida for superior ao máximo valor de atenuação permitido pelo circuito de potência.

Esta contramedida é proposta para aumentar a disponibilidade no sistema de transmissão.

Quando o controle de potência do sinal transmitido atingir seu limite máximo o sinal será transmitido pela rota secundária. Esta rota secundária é baseada em antenas passivas chamadas “back to back”. Veja a figura B1.1.

A viabilidade desta contramedida foi observada através dos dados experimentais obtidos durante um período de aproximadamente dois anos nos enlaces da EMBRATEL (Empresa Brasileira de Telecomunicações).[16]. Estes enlaces estão especificados na tabela B1.1 e convergem na Rua dos Ingleses em

São Paulo. O início destas medições ocorreu em 11 de março de 1994 as 15:29:00 horas.

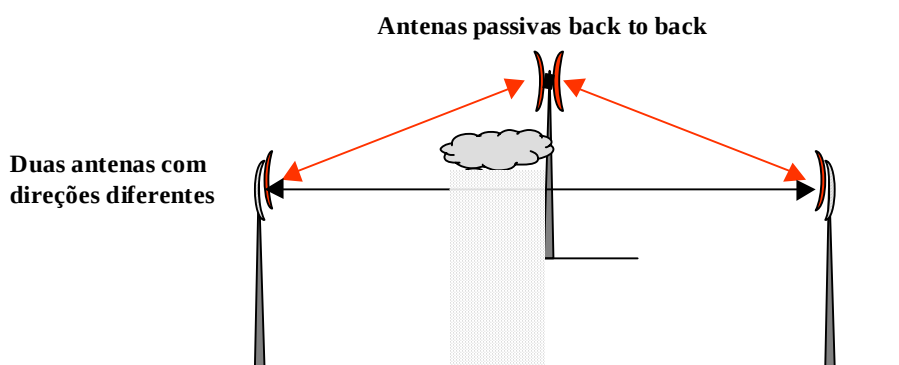


Figura B1.1 – Diversidade de rotas.

Tabela B1.1 – Características dos enlaces experimentais

Enlace	Frequência (GHz)	Comprimento (km)	Polarização	Azimuth	Atenuação para taxa de chuva máxima de 90 mm/h	Duração
Bradesco	14,5500	12,8	Horizontal	171°	9 dB	2 anos
Cenesp 15	14,5500	12,8	Horizontal	229°	11 dB	2 anos
Barueri	14,5290	21,7	Vertical	160°	8 dB	1 ano
Paranapiacaba	14,5185	43,0	Horizontal	323°	20 dB	2 anos
Cenesp 18	18,6125	12,8	Vertical	229°	15 dB	1 ano

B1.2.2.

Diversidade de sítio

Consiste em desviar o sinal transmitido para uma outra estação recepção que esteja distante da original que atingiu seu limite máximo de controle de potência. Estas duas estações distanciadas de algumas dezenas de quilômetros deverão estar conectadas por um enlace cabeado. Estas conexões terrestres aumentam o custo de implantação e diminuem a mobilidade.

Geralmente as chuvas convectiva têm células de cerca de 20 km e quando uma destas estações tem um enlace com fortes precipitações a probabilidade do

outro enlace da outra estação estar nesta célula é bem menor já que estão separadas de algumas dezenas de quilômetros.

Este tipo de diversidade é utilizado em enlace de rádio comunicações via satélites.

B1.2.3.

Diversidade de frequência

Consiste em diminuir a frequência de transmissão quando o sinal sofrer atenuação. As frequências acima de 10 GHz são mais suscetíveis a atenuações por chuvas.

Esta técnica necessita de maior complexidade dos transmissores e receptores e também sobre o gerenciamento espectral. Importante ressaltar que o espectro de frequências mais baixas está saturado e como transmissões com frequências acima de 10 GHz são sistemas de banda larga este procedimento não é muito recomendado.

B1.2.4.

Diversidade de satélite

Consiste em transferir a transmissão para outro satélite em que o enlace não esteja sofrendo uma forte atenuação. Esta é uma solução para satélites de órbita baixa. Satélites geoestacionários normalmente não permitem a melhoria do sinal já que iluminam a mesma área.

Outro problema é referente à antena do receptor terrestre que deve ser adaptativa.

B1.2.5.

Diversidade de tempo

Neste caso a transmissão só é feita quando as condições de propagação são adequadas e não causam fortes atenuações.

O inconveniente é que sistemas de comunicações contínuos ficam indisponíveis temporariamente.

B1.3.**Técnicas adaptativas**

São técnicas que modificam a forma de onda do sinal transmitido para adaptar as performances do espectro e de potência as condições de propagação. Não são necessários elementos externos, mas simplesmente um acréscimo de complexidade no sistema do receptor e transmissor.

É uma técnica que está evoluindo bastante devido a tecnologias de codificação de canal e de circuitos integrados.

A forma de onda do sinal transmitido é adaptada conforme os parâmetros obtidos pela condição de transmissões e a relação sinal ruído. Há um compromisso entre o espectro e a potência.

Existem três técnicas adaptativas básicas:

- variação da taxa de bits: o tempo dos bits são aumentados mas mantendo-se o mesmo nível de potência;
- modificação da taxa de codificação: faz-se uma mudança de código na codificação do canal para melhorar a performance da transmissão baseado nos parâmetros obtidos na recepção;
- modulação adaptativa: modificam-se os tipos de modulação digitais conforme a performance do sinal transmitido.

11 APÊNDICE C

C1.

Aplicação do método de Sweeney e Bostian

As figuras C.1, C.2 e C.3 representam a taxa de variação da atenuação por chuvas obtida pela equação do modelo de Sweeney & Bostian [14] versus a velocidade da gota de chuva de 0,1, 0,8, 1 e 2 m/s considerando a taxa de precipitação constante de 20, 50 e 120 mm/h respectivamente. Nos gráficos foram considerados os dados do enlace de Bradesco da tabela 2.1. Quando a velocidade da gota de chuva aumenta muito esta taxa atinge rapidamente um valor máximo. Conclui-se que a taxa de variação da atenuação é dependente da distribuição da gota de chuva, da velocidade da gota de chuva e do comprimento do enlace.

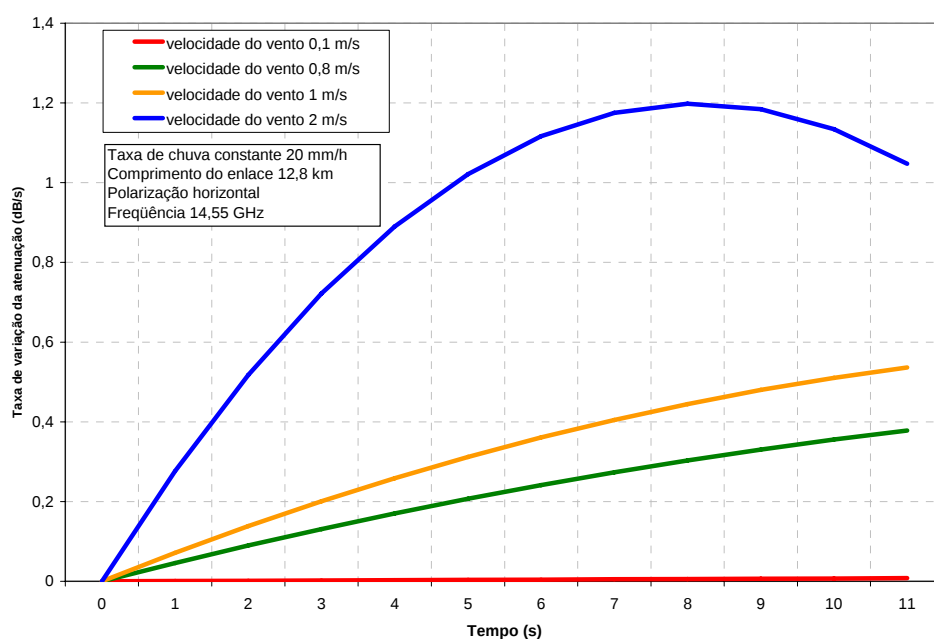


Figura C.1 – Taxa de variação da atenuação por chuvas versus a velocidade da gota de chuva de 0,1, 0,8, 1 e 2 m/s para uma taxa de precipitação de 20 mm/h.

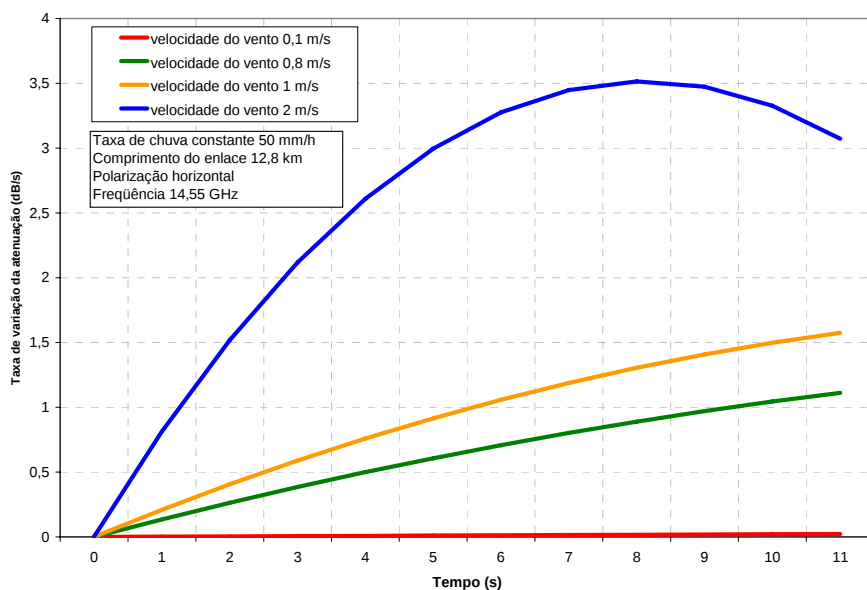


Figura C.2 – Taxa de variação da atenuação por chuvas versus a velocidade da gota de chuva de 0,1, 0,8, 1 e 2 m/s para uma taxa de precipitação de 50 mm/h.

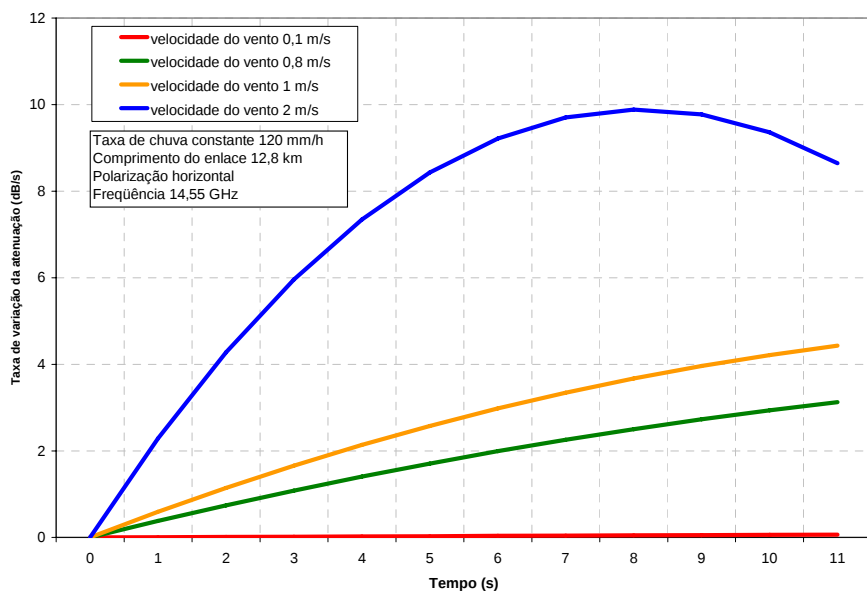


Figura C.3 – Taxa de variação da atenuação por chuvas versus a velocidade da gota de chuva de 0,1, 0,8, 1 e 2 m/s para uma taxa de precipitação de 120 mm/h.

C2.

Aplicação do método de Van de Kamp

A figura C.4 representa o diagrama de barras do modelo de Van de Kamp de distribuição da taxa de variação por chuvas condicionada a um determinado nível de atenuação considerando os dados do enlace via satélite da tabela C.1. Os dados da taxa de variação da atenuação por chuvas deste enlace via satélite localizado em Porto Alegre, Rio Grande do Sul, foram obtidos no período de um ano com tempo de taxa de dois segundos e filtro passa baixo de 0,02 Hz. Na fórmula do desvio padrão de Van de Kamp considerou-se o (s) igual a 0,01; o Δt de 2 segundos e a frequência de corte (f_c) igual a 0,02Hz. O desvio padrão obtido empiricamente, representado por σ (dB/s), é referente a taxa de variação da atenuação por chuvas condicionada a um determinado nível de atenuação.

Tabela C.1 – Característica do enlace satélite - Terra

Enlace	Frequência (GHz)	Latitude Longitude	Polarização	Angulo de elevação	Duração
Porto Alegre RS	11,4	30:03' S 51:10' W	Circular	55°	20/02/1998 à 19/02/1999

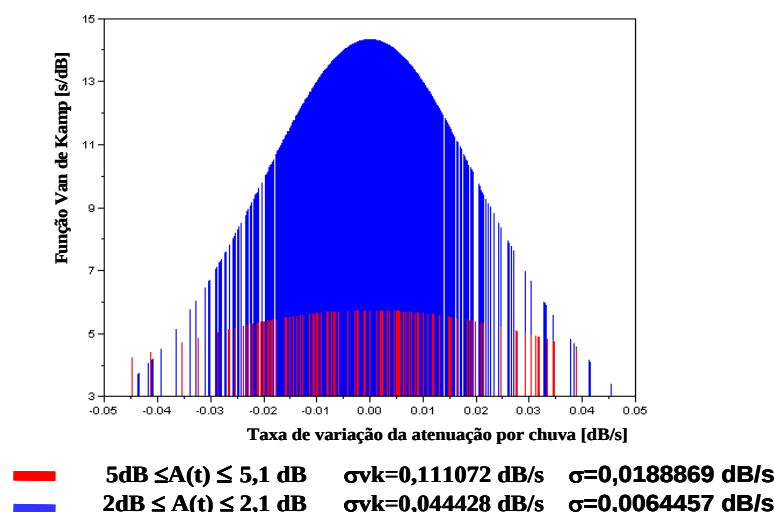


Figura C.4 – Diagrama de barras do modelo de Van de Kamp da distribuição da taxa de variação de atenuação versus taxa de variação da atenuação (dB/s), condicionada a um valor de atenuação por chuvas.

A figura C.5 compara o modelo da distribuição da taxa de Van de Kamp com o histograma da taxa condicionada a um valor de atenuação por chuvas com os dados obtidos durante um ano do enlace satélite da tabela C.1.

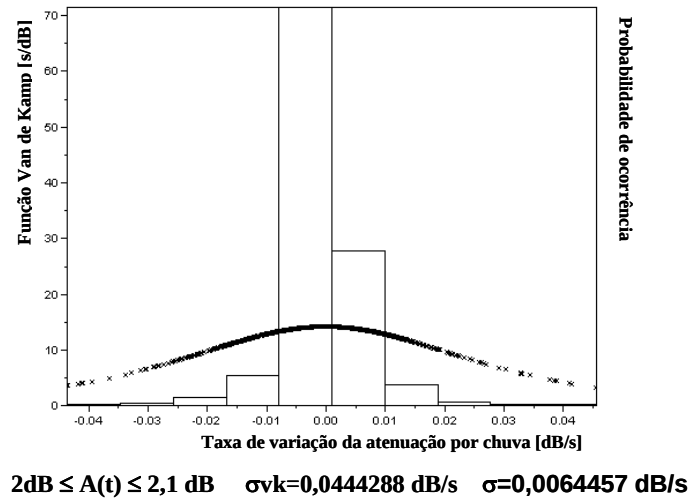


Figura C.5 – Comparação do modelo de Van de Kamp da distribuição da taxa de variação de chuvas com o histograma, condicionada a um valor de atenuação por chuvas.

12

APÊNDICE D

D1.

Gráficos das densidades gaussianas empiricamente observado versus obtidos via modelo dos parâmetros da densidade gaussiana da taxa de variação da atenuação por chuvas.

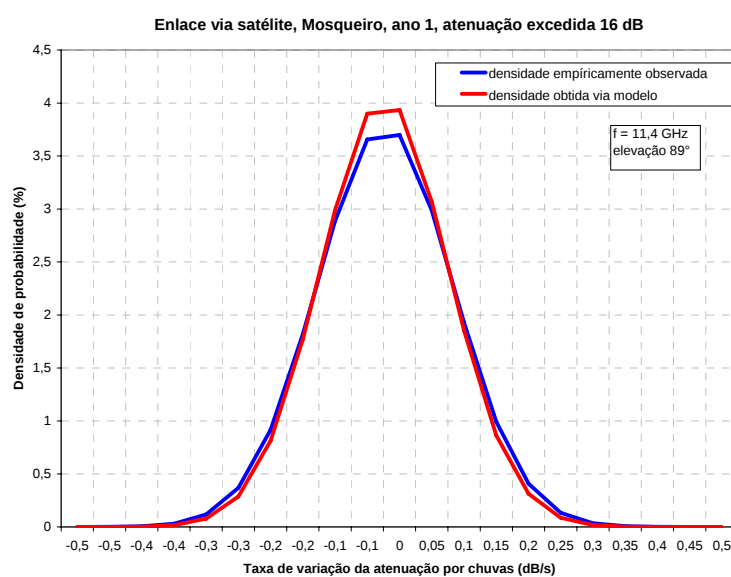


Figura D.1 – Comparação entre as densidade gaussianas empiricamente observado e obtidos via modelo do enlace via satélite de Mosqueiro no ano 1.

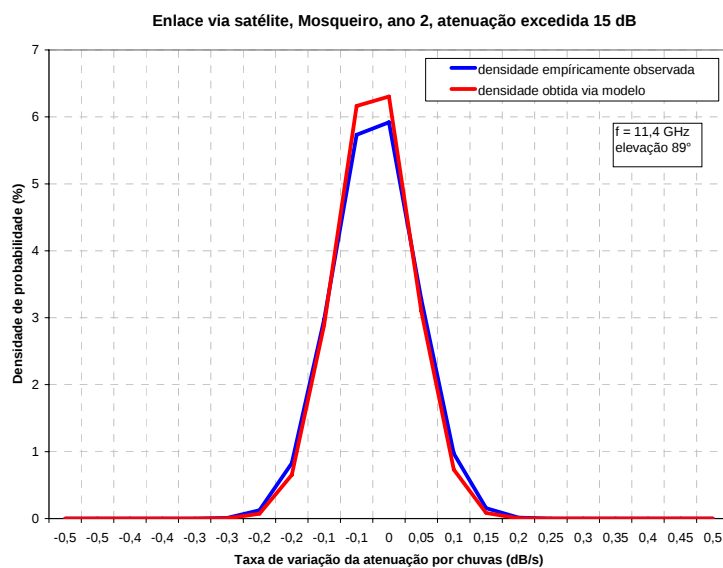


Figura D.2 – Comparação entre as densidade gaussianas empiricamente observado e obtidos via modelo do enlace via satélite de Mosqueiro no ano 2.

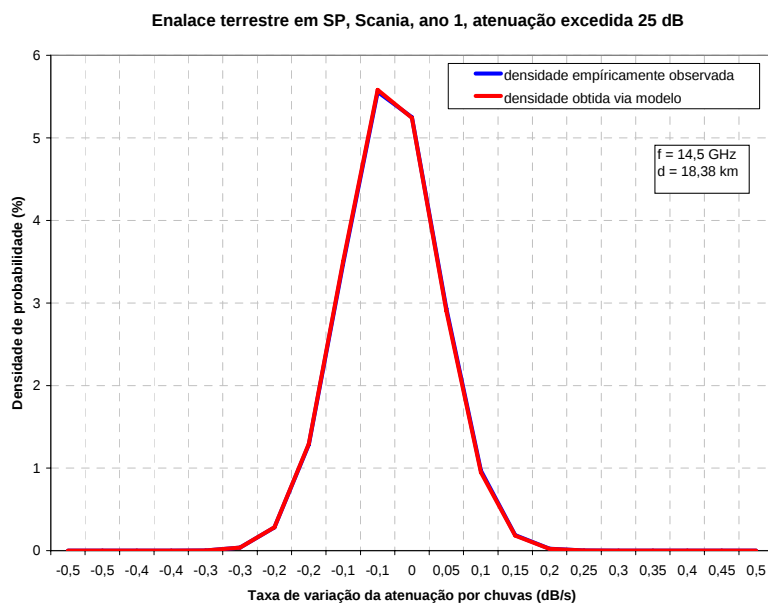


Figura D.3 – Comparação entre as densidade gaussianas empiricamente observado e obtidos via modelo do enlace terrestre de Scania no ano 1.

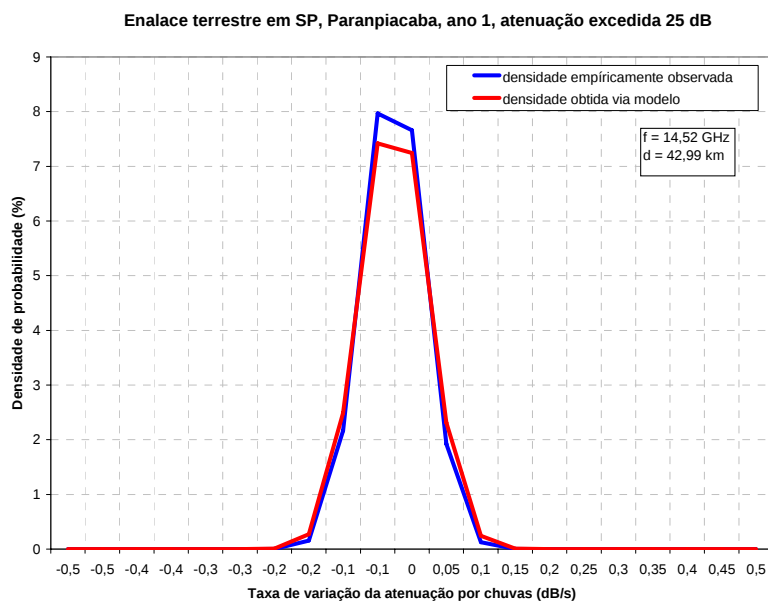


Figura D.4 – Comparação entre as densidade gaussianas empiricamente observado e obtidos via modelo do enlace terrestre de Parapiacaba no ano 1.

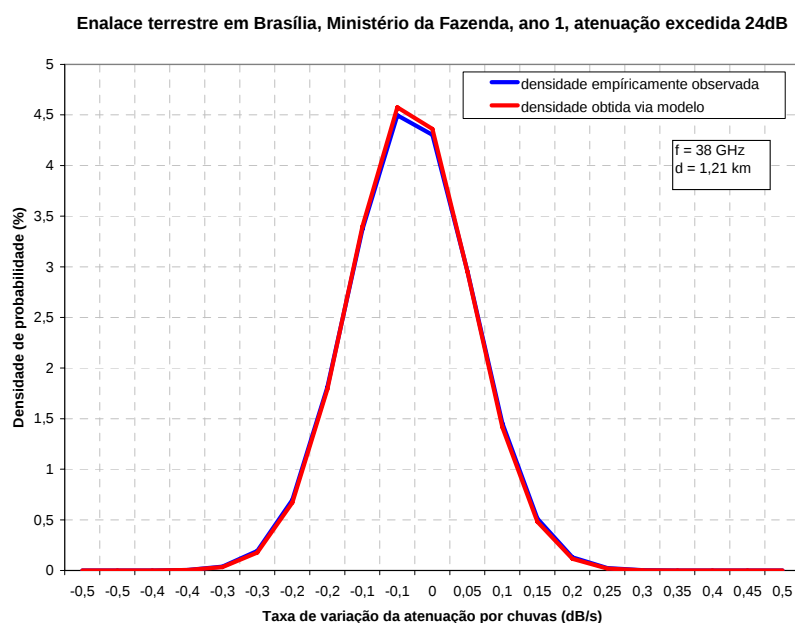


Figura D.5 – Comparação entre as densidade gaussianas empiricamente observado e obtidos via modelo do enlace terrestre de Ministério da Fazenda no ano 1.

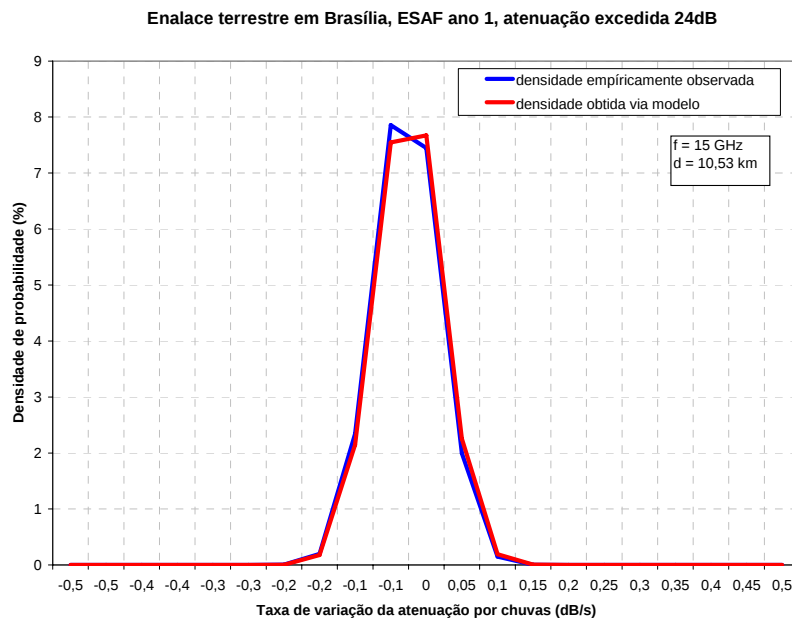


Figura D.6 – Comparação entre as densidade gaussianas empiricamente observado e obtidos via modelo do enlace terrestre de ESAF no ano 1.

13

ANEXO 1

AN1. Tabelas referentes a duração de eventos, número de eventos e parâmetros da estatísticas da duração de eventos.

Tabela AN1.1 – Distribuição de probabilidade cumulativa da duração de eventos de atenuação por chuvas em Mosqueiro.

Mosqueiro (Belém) – Ano 1 – Período de 04/1996 a 03/1997							
Dur. de even. (s)	A = 1 dB	3 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB
1	1	1	1	1	1	1	1
10	0,952143	0,986624	0,987271	0,983704	0,976133	0,979377	0,96878
30	0,916052	0,967132	0,961175	0,943989	0,911381	0,929293	0,883633
60	0,892246	0,935863	0,922245	0,901639	0,870276	0,897306	0,746452
120	0,868019	0,873836	0,826916	0,788251	0,774144	0,741162	0,583728
180	0,851035	0,811198	0,731233	0,701795	0,710497	0,641835	0,441816
300	0,825949	0,67876	0,651391	0,565183	0,491492	0,5383	
600	0,779236	0,458393	0,409285	0,251171			
900	0,738587	0,328894	0,157243	0,139442			
1200	0,706771	0,205236	0,046003				
1500	0,675385	0,032473					
1800	0,65668						
2400	0,610475						
3600	0,560512						
Mosqueiro (Belém) – Ano 2 - Período de 04/1997 a 03/1998							
Dur. de even. (s)	A = 1 dB	3 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB
1	1	1	1	1	1	1	1
10	0,878172	0,986808	0,989332	0,979665	0,972678	0,975	0,907216
30	0,838714	0,967696	0,953771	0,924242	0,889617	0,958333	0,783505
60	0,804644	0,94334	0,898948	0,88756	0,817486	0,908333	0,536082
120	0,76074	0,86241	0,755964	0,734848	0,64153	0,791667	
180	0,729575	0,779958	0,715217	0,677432	0,384699	0,552778	
300	0,633201	0,607188	0,607349	0,456539			
600	0,4148	0,318393	0,219588	0,119617			
900	0,30817	0,155603	0,110387				
1200	0,220263	0,116702	0,110387				

1500	0,169382	0,06537					
1800	0,088875						
2400	0,043854						
3600							

Tabela AN1.2 – Distribuição de probabilidade cumulativa da duração de eventos de atenuação por chuvas em Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro Year 1 – Período de 03/1998 a 02/1999							
Dur. de even. (s)	A = 1 dB	3 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB
1	1	1	1	1	1	1	1
10	0,960326	0,968181	0,97692	0,976755	0,973939	0,978417	0,993289
30	0,916755	0,926379	0,943187	0,95351	0,95697	0,951079	0,993289
60	0,875972	0,895643	0,920462	0,938953	0,885455	0,951079	0,892617
120	0,84483	0,859742	0,864714	0,846443	0,73697	0,81295	0,402685
180	0,815145	0,834022	0,810031	0,764734	0,634545	0,81295	
300	0,789664	0,772844	0,732002	0,6471	0,404242	0,529496	
600	0,717665	0,531179	0,483356	0,404555			
900	0,661105	0,366431	0,448025				
1200	0,590754	0,258287	0,230004				
1500	0,534437	0,222534	0,230004				
1800	0,500032	0,136471	0,160053				
2400	0,470601	0,136471	0,160053				
3600	0,430082	0,136471	0,160053				

Tabela AN1.3 – Distribuição de probabilidade cumulativa da duração de eventos de atenuação por chuvas em Curitiba.

Curitiba Year 1 – Período de 04/1997 a 02/1999							
Dur. de even. (s)	A = 1 dB	3 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB
1	1	1	1	1	1	1	1
10	0,959232	0,978343	0,98683	0,987045	0,991011	0,952381	0,958333
30	0,931335	0,955101	0,969872	0,907692	0,91236	0,952381	0,708333
60	0,913313	0,929625	0,909435	0,842105	0,737079	0,952381	
120	0,89515	0,882695	0,794155	0,730364	0,737079		
180	0,883216	0,831945	0,716038	0,678543	0,449438		
300	0,868717	0,703954	0,524265	0,42996	0,449438		
600	0,845802	0,568201	0,240483	0,244534			
900	0,826879	0,469709	0,105358				
1200	0,813715	0,451302					
1500	0,802432	0,343667					
1800	0,795343	0,343667					
2400	0,777149	0,300272					
3600	0,749469	0,300272					
Curitiba Year 2 – Período de 03/1998 a 02/1999							
Dur. de even. (s)	A = 1 dB	3 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB
1	1	1	1	1	1	1	1
10	0,929407	0,990631	0,990113	0,990545	0,982416	0,97754	0,988353
30	0,889531	0,976148	0,961864	0,967223	0,960295	0,941176	0,935108
60	0,862318	0,944447	0,938136	0,96029	0,901872	0,851337	0,935108
120	0,83312	0,87902	0,875141	0,918059	0,756098	0,671658	0,753744
180	0,806543	0,837849	0,804379	0,828238	0,685196	0,604278	0,650582
300	0,766625	0,758495	0,658333	0,521273	0,491208	0,604278	0,252912
600	0,691607	0,575733	0,313842	0,409707	0,17924		
900	0,661185	0,47192	0,26596	0,174283			
1200	0,610684	0,422393	0,1243				
1500	0,601244	0,422393					
1800	0,568099	0,290576					
2400	0,523215	0,290576					
3600	0,493306	0,201702					

Tabela AN1.4 – Distribuição de probabilidade cumulativa da duração de eventos de atenuação por chuvas em Porto Alegre.

Porto Alegre Year 1 – Período de 03/1998 a 02/1999							
Dur. de even. (s)	A = 1 dB	3 dB	5 dB	10 dB	15 dB	20 dB	25 dB
1	1	1	1	1	1	1	1
10	0,93649	0,983614	0,99149	0,978385	0,984639	0,957031	1
30	0,873116	0,960289	0,961422	0,918627	0,938556	0,933594	0,913043
60	0,825093	0,917205	0,913389	0,825175	0,938556	0,835938	0,913043
120	0,775641	0,868145	0,871596	0,72473	0,648233	0,835938	0,913043
180	0,744334	0,820627	0,833585	0,673236	0,648233	0,554688	
300	0,69044	0,743229	0,674924	0,37953	0,345622		
600	0,615558	0,43441	0,301437				
900	0,561058	0,325783	0,096823				
1200	0,534171	0,134651					
1500	0,510582	0,07441					
1800	0,487605						
2400	0,450285						
3600	0,418841						

Tabela AN1.5 – Média da duração de eventos de atenuação por chuvas – Mosqueiro.

Mosqueiro (Belém). Ano 1

	Numero total de eventos	Tempo total dos eventos (s)	Média da duração de eventos (s)
A = 1 dB	41273	2198234	53,26
3 dB	854	101376	118,71
5 dB	520	56562	108,77
10 dB	236	20496	86,85
15 dB	137	9050	66,06
20 dB	64	4752	74,25
25 dB	47	2114	44,98

Mosqueiro (Belém). Ano 2

	Numero total de eventos	Tempo total dos eventos (s)	Média da duração de eventos (s)
A = 1 dB	3906	80540	20,62
3 dB	210	23650	112,62
5 dB	130	13498	103,83
10 dB	71	5016	70,65
15 dB	32	1830	57,19
20 dB	12	720	60,00
25 dB	9	194	21,56

Tabela AN1.6 – Média da duração de eventos de atenuação por chuvas – Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro. Ano 1.

	Numero total de eventos	Tempo total dos eventos (s)	Média da duração de eventos (s)
A = 1 dB	3177	189392	59,61
3 dB	592	40668	68,70
5 dB	258	22530	87,33
10 dB	94	8518	90,62
15 dB	43	3300	76,74
20 dB	16	1390	86,88
25 dB	5	298	59,60

Tabela AN1.7 – Média da duração de eventos de atenuação por chuvas – Curitiba e Porto Alegre.

Curitiba. Ano 1

	Numero total de eventos	Tempo total dos eventos (s)	Média da duração de eventos (s)
A = 1 dB	55025	3287950	59,75
3 dB	529	49222	93,05
5 dB	114	11086	97,25
10 dB	32	2470	77,19
15 dB	14	890	63,57
20 dB	6	252	42,00
25 dB	3	48	16,00

Curitiba. Ano 2

	Numero total de eventos	Tempo total dos eventos (s)	Média da duração de eventos (s)
A = 1 dB	8379	292354	34,89
3 dB	272	39494	145,20
5 dB	117	14160	121,03
10 dB	45	6346	141,02
15 dB	36	3526	97,94
20 dB	25	1870	74,80
25 dB	14	1202	85,86

Porto Alegre. Ano 1.

	Numero total de eventos	Tempo total dos eventos (s)	Média da duração de eventos (s)
A = 1 dB	8958	349832	39,05
3 dB	192	20750	108,07
5 dB	80	10576	132,20
10 dB	43	3146	73,16
15 dB	15	1302	86,80
20 dB	7	512	73,14
25 dB	2	138	69,00

Tabela AN1.8 – Parâmetros estimados da distribuição de Weibull para duração de eventos de Mosqueiro (Belém).

Mosqueiro (Belém) - Ano 1

	Parâmetro alfa (fator de forma)	Parâmetro neta (parâmetro de escala)	Correlação
A = 1 dB	0,40234	15748,3	0,99753
3 dB	1,06166	712,9559	0,99458
5 dB	1,11269	543,6345	0,99684
10 dB	1,0625	473,593	0,99937
15 dB	0,93272	486,0206	0,99304
20 dB	1,01649	438,8218	0,99488
25 dB	1,12222	202,0857	0,99755

Mosqueiro (Belém) – Ano 2.

	Parâmetro alfa (fator de forma)	Parâmetro neta (parâmetro de escala)	Correlação
A = 1 dB	0,6031	636,3795	0,97014
3dB	1,12254	591,2561	0,99675
5 dB	1,12382	474,6424	0,99531
10 dB	1,09297	358,7193	0,99526
15 dB	1,167	212,6466	0,99459
20 dB	1,06902	420,7813	0,96522
25 dB	1,01805	104,0907	0,99076

Tabela AN1.9 – Parâmetros estimados da distribuição de Weibull para duração de eventos de Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro - Ano 1

	Parâmetro alfa (fator de forma)	Parâmetro neta (parâmetro de escala)	Correlação
A = 1 dB	0,50509	4384,246	0,99565
3 dB	0,77011	1079,313	0,98551
5 dB	0,83797	1020,017	0,99386
10 dB	0,91826	788,2031	0,98713
15 dB	1,08574	374,7098	0,98553
20 dB	0,94855	737,7893	0,95494
25 dB	2,0375	172,7869	0,904131

Tabela AN1.10 – Parâmetros estimados da distribuição de Weibull para duração de eventos de Curitiba e Porto Alegre.

Curitiba - Ano 1			
	Parâmetro alfa (fator de forma)	Parâmetro neta (parâmetro de escala)	Correlação
A = 1 dB	0,30483	203609,8	0,99426
3 dB	0,79737	1385,868	0,99678
5 dB	1,18058	448,4834	0,99726
10 dB	1,08852	370,4877	0,98448
15 dB	1,29994	249,286	0,95877
Curitiba – Ano 2.			
	Parâmetro alfa (fator de forma)	Parâmetro neta (parâmetro de escala)	Correlação
A = 1 dB	0,3913	8133,582	0,99884
3 dB	0,94149	1295,65	0,99534
5 dB	1,09081	679,2187	0,99695
10 dB	1,17892	642,6252	0,98305
15 dB	1,12314	420,7854	0,99434
20 dB	1,00448	413,0812	0,98149
25 dB	1,20774	378,3792	0,97628
Porto Alegre – Ano 1.			
	Parâmetro alfa (fator de forma)	Parâmetro neta (parâmetro de escala)	Correlação
A = 1 dB	0,423789	3674,086	0,99323
3 dB	1,00303	735,9913	0,9938
5 dB	1,17844	555,1815	0,99137
10 dB	1,05219	342,4392	0,99264
15 dB	1,23968	319,1487	0,97238
20 dB	0,81956	566,803	0,93739

Tabela AN1.11 – Parâmetros estimados da expressão $y = \exp(A + B1*x + B2*x^2)$ para duração de eventos de Mosqueiro (Belém).

Mosqueiro (Belém) - Ano 1				
	A	B1	B2	R ²
A = 1 dB	-0,08067	-2,67E-04	3,65E-08	0,96815
3 dB	-0,09247	4,83E-05	-1,39E-06	0,96373
5 dB	-0,04711	-6,13E-04	-1,57E-06	0,99674
10 dB	0,01784	-0,00214	-1,09E-07	0,99705
15 dB	-0,01949	-0,00155	-2,40E-06	0,99173
20 dB	0,01464	-0,00288	2,48E-06	0,99308
25 dB	0,01023	-0,00483	1,38E-06	0,99882

Mosqueiro (Belém) – Ano 2.				
	A	B1	B2	R ²
A = 1 dB	-0,11464	-0,00111	-5,99E-08	0,99534
3 dB	0,05723	-0,00213	1,81E-07	0,9952
5 dB	0,08438	-0,00309	8,98E-07	0,97676
10 dB	-0,01258	-0,00169	-3,04E-06	0,99898
15 dB	-0,02064	-0,00141	-2,05E-05	0,99344
20 dB	-0,01961	1,75E-04	-1,83E-05	0,99235
25 dB	-0,00607	-0,00634	-6,52E-05	0,99672

Tabela AN1.12 – Parâmetros estimados da expressão $y = \exp(A + B1*x + B2*x^2)$ para duração de eventos de Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro - Ano 1				
	A	B1	B2	R ²
A = 1 dB	-0,07607	-4,64E-04	7,04E-08	0,98597
3 dB	0,03054	-0,00143	2,39E-07	0,98834
5 dB	0,01845	-0,00138	2,42E-07	0,98404
10 dB	6,06E-04	-0,0014	-1,80E-07	0,99892
15 dB	0,00373	-0,00199	-3,46E-06	0,99857
20 dB	-0,01714	-4,30E-04	-5,31E-06	0,97262
25 dB	-0,02087	0,00378	-9,30E-05	0,99842

Tabela AN1.13 – Parâmetros estimados da expressão $y = \exp(A + B1 \cdot x + B2 \cdot x^2)$ para duração de eventos de Curitiba e Porto Alegre.

Curitiba - Ano 1				
	A	B1	B2	R ²
A = 1 dB	-0,07	-1,39E-04	2,28E-08	0,8908
3 dB	-0,03428	-8,82E-04	1,57E-07	0,99074
5 dB	0,02165	-0,00205	-5,37E-07	0,99952
10 dB	0,009	-0,00284	7,67E-07	0,99177
15 dB	0,03529	-0,00524	7,88E-06	0,91918
20 dB	-0,00763	-0,0027	3,40E-05	0,71877
25 dB	0,00115	-7,90E-04	-3,58E-04	1
Curitiba – Ano 2.				
	A	B1	B2	R ²
A = 1 dB	-0,10883	-3,79E-04	6,06E-08	0,96243
3 dB	-0,02901	-8,02E-04	1,04E-07	0,98395
5 dB	0,05319	-0,00206	5,23E-07	0,98458
10 dB	0,01527	-0,00133	-6,50E-07	0,97545
15 dB	0,00586	-0,00192	-1,58E-06	0,99935
20 dB	0,03487	-0,00451	8,97E-06	0,98469
25 dB	-0,02399	1,51E-04	-1,54E-05	0,99357
Porto Alegre – Ano 1.				
	A	B1	B2	R ²
A = 1 dB	-0,14335	-5,02E-04	8,61E-08	0,94478
3 dB	-0,01498	-8,72E-04	-5,80E-07	0,99449
5 dB	-0,0115	-6,89E-04	-2,11E-06	0,99954
10 dB	-0,02486	-0,00156	-5,09E-06	0,98313
15 dB	0,00694	-0,002	-5,06E-06	0,96876
20 dB	-0,03953	5,11E-07	-1,60E-05	0,92312
25 dB	0,00817	-0,00296	1,79E-05	0,86788

Tabela AN1.14 – Parâmetros estimados da expressão $y = \exp(-(x)/t1) + \exp(-(x)/t2)$ para duração de eventos de Mosqueiro (Belém).

Mosqueiro (Belém) - Ano 1			
	t1	t2	R ²
A = 1 dB	4308,39	0,1195	0,63415
3 dB	746,96	0,15113	0,98946
5 dB	582,48	0,15703	0,98541
10 dB	481,46	0,16187	0,99626
15 dB	455,12	0,16335	0,98555
20 dB	446,44	0,16387	0,98674
25 dB	220,25	0,18529	0,99784

Mosqueiro (Belém) – Ano 2.			
	t1	t2	R ²
A = 1 dB	695	0,1528	0,96015
3 dB	570,53	0,15754	0,99218
5 dB	479,25	0,16199	0,98792
10 dB	375,45	0,16865	0,98204
15 dB	230,31	0,18377	0,96296
20 dB	388,24	0,1677	0,91065
25 dB	103,35	0,21538	0,98508

Tabela AN1.15 – Parâmetros estimados da expressão $y = \exp(-(x)/t1) + \exp(-(x)/t2)$ para duração de eventos de Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro - Ano 1			
	t1	t2	R ²
A = 1 dB	4308,39	0,1195	0,63415
3 dB	74.696	0,15113	0,98946
5 dB	582,48	0,15703	0,98541
10 dB	481,46	0,16187	0,99626
15 dB	455,12	0,16335	0,98555
20 dB	446,44	0,16387	0,98674
25 dB	220,25	0,18529	0,99784

Tabela AN1.16 – Parâmetros estimados da expressão $y = \exp(-(x)/t_1) + \exp(-(x)/t_2)$ para duração de eventos de Curitiba e Porto Alegre.

Curitiba - Ano 1			
	t1	t2	R ²
A = 1 dB	2676,62	0,1267	0,78991
3 dB	964,87	0,14551	0,98493
5 dB	979,46	0,14519	0,9767
10 dB	679,99	0,15331	0,99726
15 dB	372,59	0,16887	0,984
20 dB	586,6	0,15686	0,91919
25 dB	204,95	0,18779	0,76014
Curitiba – Ano 2.			
	t1	t2	R ²
A = 1 dB	8365,32	0,11072	0,05335
3 dB	1504,03	0,13668	0,90792
5 dB	461,37	0,16299	0,99264
10 dB	397,98	0,16701	0,99039
15 dB	302,9	0,17498	0,91386
20 dB	932,01	0,14624	-0,07969
25 dB	96,07	0,2188	0,92323
Porto Alegre – Ano 1.			
	t1	t2	R ²
A = 1 dB	3099,35	0,12439	0,55146
3 dB	1477,17	0,13702	0,95848
5 dB	665,14	0,15383	0,98546
10 dB	620,01	0,15551	0,95734
15 dB	416,63	0,16574	0,98811
20 dB	434,61	0,16459	0,88323
25 dB	330,05	0,17239	0,90326

Tabela AN1.17 – Parâmetros estimados da distribuição log-normal para duração de eventos de Mosqueiro (Belém).

Mosqueiro (Belém) - Ano 1			
	μ	σ	R^2
A = 1 dB	0	15,91	0,97641
3 dB	0	23,97	0,91139
5 dB	0	17,76	0,90654
10 dB	0	16,24	0,91731
15 dB	0	14,54	0,88916
20 dB	0	13,77	0,92353
25 dB	0	17,76	0,95272

Mosqueiro (Belém) – Ano 2.

	μ	σ	R^2
A = 1 dB	0	17,43	0,95858
3 dB	0	17,15	0,92641
5 dB	0	20,03	0,92995
10 dB	0	19,31	0,88851
15 dB	0	16,35	0,86963
20 dB	0	17,04	0,76376
25 dB	0	9,96	0,92862

Tabela AN1.18 – Parâmetros estimados da distribuição log-normal para duração de eventos de Rio de Janeiro.

Rio de Janeiro - Ano 1			
	μ	σ	R^2
A = 1 dB	0	17,25	0,97271
3 dB	0	20,95	0,93403
5 dB	0	30,63	0,8694
10 dB	0	15,75	0,94326
15 dB	0	14,24	0,87193
20 dB	0	18,55	0,75584
25 dB	0	21,21	0,65876

Tabela AN1.19 – Parâmetros estimados da distribuição log-normal para duração de eventos de Curitiba e Porto Alegre.

Curitiba - Ano 1			
	μ	σ	R^2
A = 1 dB	0	13,86	0,99146
3 dB	0	16,91	0,9616
5 dB	0	16,48	0,91305
10 dB	0	15,27	0,93038
15 dB	0	12,93	0,8992
20 dB	0	0,32	1
25 dB	0	16,96	0,88682
Curitiba – Ano 2.			
	μ	σ	R^2
A = 1 dB	0	18,64	0,99145
3 dB	0	21,01	0,96289
5 dB	0	31,52	0,90427
10 dB	0	26,69	0,84803
15 dB	0	31,24	0,8942
20 dB	0	14,24	0,9248
25 dB	0	14,92	0,77163
Porto Alegre – Ano 1.			
	μ	σ	R^2
A = 1 dB	0	9,99	0,9989
3 dB	0	38,94	0,90175
5 dB	0	34,78	0,83324
10 dB	0	29,32	0,88458
15 dB	0	43,05	0,84052
20 dB	0	24,82	0,74694
25 dB	0	2,61	0,78471