

## **6. Aplicação do método de avaliação da eficiência de uso do espectro**

Para a aplicação prática dos resultados deste estudo ao setor brasileiro de telecomunicações foi adotado o agrupamento de serviços em classes, associadas a sistemas terrestres ponto-a-ponto, sistemas terrestres ponto-área e sistemas de radiodifusão. Para cada uma destas classes foram realizados exemplos de cálculo da eficiência absoluta de uso do espectro de sistemas utilizados no Brasil.

Em cada caso foram utilizados os dados disponíveis no momento sobre os sistemas considerados.

O exemplo de aplicação dos indicadores para os sistemas celulares ponto-área utilizados no Brasil é para as faixas de 800 MHz e 1800 MHz. Os indicadores são aplicados a sistemas ponto-a-ponto operando em algumas faixas de frequências para as quais as características de propagação e capacidades são distintas, de modo a caracterizar a eficiência de uso do espectro em diferentes aplicações deste tipo de sistema. São avaliadas, também, a eficiência absoluta de uso do espectro para sistemas de radiodifusão sonora em FM, analógicos.

### **6.1. Aplicação dos indicadores de EUE a sistemas ponto-área**

Nesta seção os indicadores de uso eficiente do espectro para sistemas ponto-área são aplicados a diferentes sistemas móveis celulares utilizados no Brasil nas faixas de 800 MHz e 1800 MHz. As seções seguintes apresentam os cálculos realizados para cada um dos sistemas considerados.

#### **6.1.1. Indicadores de EUE para sistemas ponto-área**

O indicador de eficiência de uso do espectro escolhido para caracterizar sistemas ponto-área tomou por base a definição geral dada pelo ITU-R [2] que, para sistemas de transmissão de voz é dada por:

$$EUE = \frac{T_T}{B \cdot S} \quad (75)$$

onde:  $T_T$  é o tráfego telefônico em bits/segundo;  
 $B$  é a largura de faixa de frequências; e  
 $S$  é o espaço geométrico.

Quando são conhecidos o tráfego real e a área de cobertura do sistema, a aplicação desta expressão é direta. Caso contrário, podem ser obtidas expressões teóricas para a EUE em função do fator de reuso e do grau de serviço (G.O.S), considerando grupos de células com simetria hexagonal e utilizando um modelo de propagação adequado [21]. Para sistemas FDMA e TDMA esta expressão é dada por:

$$EUE_{VOZ_{FDMA/TDMA}} = \frac{T_T}{B \cdot S} = \frac{T_T(n, G.O.S)}{B \cdot 3\sqrt{3}R^2 / (2 \cdot N_s)} \quad (76)$$

onde:  $R$  é o raio da célula;  
 $N_s$  é o número de setores por célula; e  
 $T_T$  é o tráfego telefônico em Erlangs, obtido pela solução numérica da eq. (77).

$$G.O.S. \cong \frac{T_T^n e^{-T_T}}{n!} \cdot 100\% \quad (77)$$

onde  $G.O.S.$  é o grau de serviço; e  
 $n$  é o número de canais por setor.

O número de canais,  $n$ , é dado por:

$$n = \frac{N_T}{N \cdot N_s} = \frac{B \cdot n_c}{W} \cdot \frac{1}{N \cdot N_s} \quad (78)$$

onde:  $N_T$  é o número total de canais disponíveis;  
 $N$  é o fator de reuso;  
 $B$  é a largura de faixa destinada ao serviço;  
 $W$  é o espaçamento entre portadoras; e  
 $n_c$  é o número de canais por portadora, igual a 1 para sistemas FDMA.

Para sistemas CDMA, a expressão anterior não se aplica. O espalhamento espectral permite que estes sistemas utilizem fator de reuso igual a 1. A eficiência de uso do espectro para estes sistemas pode ser escrita na seguinte forma:

$$EUE_{VOZ_{CDMA}} = \frac{T_T(M, G.O.S) \cdot n_p \cdot N_S \cdot n_{ERB}}{B \cdot S} = \frac{T_T(M, G.O.S) \cdot N_S \cdot n_{ERB}}{W \cdot S} \quad (79)$$

onde:  $M$  é o número de usuário por setor;  
 $n_p$  é o número de portadoras;  
 $n_{ERB}$  é o número de estações rádio base na área considerada; e  
 $W$  é a largura de faixa do sinal espalhado.

O número máximo de usuários por setor depende da interferência gerada na própria célula e nas células adjacentes que, por sua vez, depende não apenas do número de usuários ativos mas de sua posição (aleatória) dentro das células. Na prática, este número é dado por:

$$M = \mu \cdot M_{\max} \quad (80)$$

onde:  $M_{\max}$  é o valor máximo teórico para o número de usuários de voz por portadora, por setor em sistemas CDMA.

$$M_{\max} = \frac{G}{\alpha \Delta} \frac{1}{1 + \beta} + 1 \quad (81)$$

onde:  $G = W/R_b$  é o ganho de processamento;  
 $R_b$  é a taxa de bits do sinal de informação;  
 $\alpha$  é o fator de atividade de voz;  
 $\beta$  é o fator de interferência de outras células; e  
 $\Delta$  é o requisito mínimo da relação sinal interferência, expresso em energia de bit por densidade espectral de potência de interferência mais ruído.

Este número de usuários não pode, na prática, ser atingido, pois requer potência de transmissão infinita. A razão entre o número real de usuários e este limite superior é denominado fator de carga da célula ( $\mu$ ). Assim, o valor de tráfego utilizado será dado pela solução numérica da expressão:

$$G.O.S. \cong \frac{T_T^{\mu \cdot M_{\max}} e^{-T_T}}{(\mu \cdot M_{\max})!} \cdot 100\% \quad (82)$$

### 6.1.2. Sistema D-AMPS

Para aplicações de voz foi calculada a eficiência espectral dos sistema D-AMPS, padrão TIA/EIA IS-136 [29], usualmente referido como sistema TDMA. A escolha deste sistema justifica-se por ser de grande utilização no Brasil e por ter parâmetros típicos bem definidos, tanto no que diz respeito a características de equipamentos como de configuração de sistema.

Parâmetros típicos de equipamento são mostrados na tabela 7. Os valores de ganho de antena, perdas de alimentação e altura de antena da estação rádio base (ERB) são típicos, embora arbitrários.

Tabela 1. Parâmetros de referência para sistemas celulares (D-AMPS)

Parâmetro	Estação Rádio Base	Equipamento do Usuário
Potência de transmissão (dBm)	36	28
Limiar de recepção (dBm)	-110	-100
Ganho da antena (dBi)	12	0
Perdas de alimentação (dB)	3	0
Altura da antena (m)	30	1,5
Requisito de S/I (dB)	14	17

Utilizando a metodologia estabelecida e assumindo células com setorização tripla, em regiões urbanas e suburbanas, e células omni em regiões rurais, os raios de células para cobertura em espaços exteriores, os fatores de reuso e a capacidade de tráfego em cada uma destas regiões são dados na tabela 8.

Foram adotadas uma perda de bloqueio pelo corpo de 4 dB, uma margem de 6 dB (correspondente a uma cobertura de área de 90% em espaços exteriores) e alturas efetivas estimadas em função da característica geral da região. O modelo de propagação adotado foi o de Okumura-Hata [21]. Foi assumido um G.O.S. de

2%, valor normalmente utilizado em projetos de sistemas celulares, e um total de 1.185 canais, correspondentes a uma faixa total de 12,5 MHz e espaçamento entre portadoras de 30 kHz.

Tabela 2. Parâmetros do sistema celular D-AMPS

Região	Altura efetiva da ERB (m)	Raio da célula (km)	Fator de Reuso, N	Setorização	Capacidade (Erl)
Urbana	10	1,14	4	Tripla	260
Suburbana	20	2,79	7	Tripla	140
Rural	30	11,36	9	Omni	120

Considerando que a largura de faixa do canal para sistemas TDMA é de 30 kHz, a EUE para o sistema TDMA para voz, em cada tipo de região considerada, é dada na tabela 9.

Tabela 3. EUE para o sistema D-AMPS

Região	EUE (Erlangs/MHz/Km <sup>2</sup> )
Urbana	6,2
Suburbana	0,6
Rural	0,03

### 6.1.3. Sistema AMPS

Para sistemas AMPS [29] utilizados na faixa de 800 MHz, as características de equipamento são muito semelhantes às dos sistemas D-AMPS. As principais diferenças são potências de transmissão das estações rádio base um pouco mais elevadas e um requisito de relação sinal interferência ligeiramente mais restritivo. Características de equipamento e configuração de antenas típicas para estes sistemas são mostradas na tabela 10.

Os raios de células para cobertura em espaços exteriores, os fatores de reuso e a capacidade de tráfego em cada uma destas regiões para o caso de sistemas

AMPS são dados na tabela 11. No cálculo foi utilizada a metodologia determinada e assumiu-se células com setorização tripla, em regiões urbanas e suburbanas, e células omni em regiões rurais.

Tabela 4. Características típicas de equipamento AMPS

Parâmetro	ERB	Equipamento do Usuário
Potência de transmissão (dBm)	40	28
Limiar de recepção (dBm)	-110	-100
Ganho da antena (dBi)	12	0
Perdas de alimentação (dB)	3	0
Altura da antena (m)	30	1,5
Requisito de S/I (dB)	18	18

Tabela 5. Parâmetros do sistema AMPS típico

Região	Altura efetiva da ERB (m)	Raio da célula (km)	Fator de Reuso, N	Capacidade (Erl)
Urbana	10	1,44	7	37
Suburbana	20	3,59	7	37
Rural	30	14,76	9	33

Considerando que a largura de faixa do canal para sistemas AMPS é de 30 kHz, a EUE para o sistema AMPS típico, em cada tipo de região considerada, é dada na tabela 12.

Tabela 6. EUE para o sistema AMPS típico

Região	EUE (Erlangs/MHz/km <sup>2</sup> )
Urbana	0,55
Suburbana	0,09
Rural	0,005

#### 6.1.4. Sistemas GSM

Para sistemas GSM [30] operando na faixa de 1800 MHz, as características de equipamento e configuração de antenas típicas são mostradas na tabela 13.

Tabela 7. Características típicas de equipamento GSM

Parâmetro	Estação Rádio Base	Equipamento do Usuário
Potência de transmissão (dBm)	40	30
Limiar de recepção (dBm)	-110	-104
Ganho da antena (dBi)	12	0
Perdas de alimentação (dB)	3	0
Altura da antena (m)	30	1,5
Requisito de S/I (dB)	18	18

Os raios de células para cobertura em espaços exteriores, os fatores de reuso e a capacidade de tráfego em cada uma destas regiões para o caso de sistemas GSM são dados na tabela 14. No cálculo foi utilizada a metodologia determinada e assumiu-se células com setorização tripla, em regiões urbanas e suburbanas, e células omni em regiões rurais. Foi assumida uma largura de faixa total de 30 MHz correspondente, no sistema GSM, a 75 portadoras e 600 canais TDMA *full-duplex*.

Tabela 8. Parâmetros do sistema GSM típico

Região	Altura efetiva da ERB (m)	Raio da célula (km)	Fator de Reuso N	Capacidade (Erl)
Urbana	10	0,76	3	168
Suburbana	20	1,84	4	84
Rural	30	6,57	7	74

Considerando que a largura de faixa do canal para sistemas GSM é de 200 kHz, a EUE para o sistema GSM típico, em cada tipo de região considerada, é dada na tabela 15.

Tabela 9. EUE para o sistema GSM típico

Região	EUE (Erlangs/MHz/Km <sup>2</sup> )
Urbana	7,34
Suburbana	0,64
Rural	0,035

### 6.1.5. Sistemas CDMA (IS-95)

Para sistemas CDMA IS-95 [29] utilizados na faixa de 800 MHz, os parâmetros típicos de sistema são mostrados na tabela 16. A tabela fornece ainda o número de usuários por setor, por portadora, calculado a partir das expressões de tráfego correspondente, assumindo um grau de serviço (G.O.S.) de 2%.

A razão entre o número de estações rádio base e a área de cobertura total pode ser aproximada pelo inverso da área de cobertura das células.

Tabela 10. Parâmetros típicos do sistema CDMA IS 95

W (MHz)	1,25
R <sub>b</sub> (kbps)	9,6
Δ (dB)	7
α	0,45
β	0,8
μ	0,65
M <sub>máx</sub>	32
M	21
T <sub>T</sub> (Erlangs/setor/portadora)	14,1

No caso de sistemas CDMA, o fator limitante no dimensionamento do sistema é a interferência e não a cobertura. Na prática, o raio de cobertura da célula varia com o número de usuários ativos. Isto dificulta o cálculo teórico do número de células por unidade de área. Na falta de dados reais, são utilizados raios de célula obtidos teoricamente. Neste caso, a eficiência de uso do espectro

para o sistema CDMA típico, para cada tipo de região considerada é dada na tabela 17.

Tabela 11. EUE para o sistema CDMA típico

Região	EUE (Erlangs/MHz/Km <sup>2</sup> )
Urbana	10,1
Suburbana	1,68
Rural	0,10

## 6.2.

### Aplicação dos indicadores de EUE a sistemas ponto-a-ponto

Esta seção apresenta cálculos dos indicadores técnicos de uso eficiente do espectro para faixas de frequências selecionadas. São calculadas eficiências absolutas de uso do espectro (EUE) para enlaces reais escolhidos.

Foi selecionado, para a aplicação da metodologia proposta neste trabalho, um sistema PDH na faixa de 8,5 GHz. Para a faixa escolhida, os parâmetros e os cálculos são apresentados da maneira descrita a seguir.

As equações pertinentes para os cálculos são apresentadas, seguidas dos parâmetros numéricos necessários. Quando novos parâmetros necessitam ainda ser calculados, as expressões apropriadas são apresentadas até que se chegue ao valor numérico buscado na expressão original.

#### 6.2.1.

##### Cálculo da EUE para sistemas ponto-a-ponto

Nesta seção são mencionados dados reais de sistemas quanto às características dos equipamentos transmissores e/ou receptores utilizados. Dessa forma, parâmetros que farão com que valores de eficiência sejam diferentes de 1 são, entre outros: maior taxa de transmissão de informação para uma mesma faixa de frequências negada (B), melhores características de filtragem e protocolos de comunicação que gerem menos sobrecarga (*overhead*) na taxa de transmissão.

Além dos parâmetros definidos nesta seção, é proposto o uso de um indicador que relacione o comprimento de enlace com a faixa de frequências empregada. O objetivo é o de premiar com bom índice de utilização do espectro os sistemas de baixa frequência (que tendem a gerar grandes áreas geográficas negadas) utilizados em enlaces de muito longa distância e vice-versa. Expressando a idéia de outra forma, baixas relações área efetivamente utilizada pelo sistema/área negada geram bons índices de eficiência de utilização do espectro.

A definição de grupos de equipamentos, bem como a definição de comprimentos máximos de enlace conforme a faixa de frequências de operação podem ser feitas por:

- pequenos agrupamentos de frequências, gerando muitos grupos;
- grandes agrupamentos de frequências, gerando poucos grupos, como, por exemplo, sistemas operando abaixo de 1 GHz, entre 1 e 10 GHz e acima de 10 GHz.

Este estudo, mediante o uso dos dados tabelados a seguir e dos documentos indicados no corpo do texto, segue o caminho da adoção de pequenos agrupamentos de frequências.

Valores de comprimento mínimo de enlaces por faixa de frequências, bem como os índices de eficiência de utilização do espectro são obtidos para os dados utilizados nos cálculos.

Para o cálculo da EUE é necessária a determinação de parâmetros de potência, comprimento típico, margem, *C/I* e sensibilidade, críticos para os cenários analisados, bem como na determinação de faixa de frequências ocupada para cada tipo de sistema. No cálculo absoluto da EUE, os parâmetros definidos nesta seção devem ser adotados sempre que forem desconhecidas as características sistêmicas do enlace (ou categoria de enlaces) sob análise.

O conjunto de parâmetros é dividido em três grandes categorias, presentes em cada uma das diversas faixas de frequências dos sistemas ponto-a-ponto:

- canalização e capacidade;
- características sistêmicas e de rádio-transceptores;
- máscaras de diagrama de radiação e ganhos.

### 6.2.1.1. Canalização e capacidade

Os documentos de referência para obtenção das canalizações por faixas de frequências são apresentados no Plano de Atribuição, Destinação e Distribuição de Faixas de Frequências no Brasil [18]. A seguir são mostradas as canalizações e capacidades definidas para algumas faixas de frequências em que operam os sistemas ponto-a-ponto no Brasil.

#### 6.2.1.1.1. Taxas de transmissão

Para os sistemas ponto-a-ponto digitais são apresentadas na tabela 18 as taxas de transmissão adotadas.

Tabela 12. Taxas de transmissão

Faixas de frequências	Taxas permitidas (Mbps)	Taxa de referência (Mbps)
400 MHz	64 kbps; 128 kbps; 256 kbps; 512 kbps; 704 kbps; 1024 kbps; 2,048 Mbps (1E1); 4,1 Mbps (2E1); 8,448 Mbps (4E1)	2,048 (1E1)
1,5 GHz	2,048 (1E1); 4,1 (2E1); 8,448 (4E1)	2,048 (1E1)
4 GHz	155,52 (STM1)	155,52 (STM1)
5 GHz	155,52 (STM1)	155,52 (STM1)
6 GHz	155,52 (STM1)	155,52 (STM1)
6,7 GHz	34,368 (16E1); 43,008 (STM0); 68,9 (32E1)	43,008 (STM0)
7,5 GHz	2,048 (1E1); 4,1 (2E1); 8,448 (4E1); 17 (8E1); 34,368 (16E1); 43,008 (STM0); 155,52 (STM1)	17 (8E1)
8 GHz	155,52 (STM1)	155,52 (STM1)
8,5 GHz	17 (8E1); 34,368 (16E1); 43,008 (STM0)	34,368 (16E1)
11 GHz	155,52 (STM1)	155,52 (STM1)
15 GHz	2,048 (1E1); 4,1 (2E1); 8,448 (4E1); 17 (8E1)	8,448 (4E1)
18 GHz (baixa capacidade)	2,048 (1E1); 4,1 (2E1); 8,448 (4E1)	4,1 (2E1)
18 GHz (média e alta capacidades)	17 (8E1); 34,368 (16E1); 43,008 (STM0); 155,52 (STM1)	43,008 (STM0)
23 GHz	2,048 (1E1); 4,1 (2E1); 8,448 (4E1); 17 (8E1); 34,368 (16E1); 43,008 (STM0); 155,52 (STM1)	17 (8E1)
23 GHz (alta capacidade)	155,52 (STM1)	155,52 (STM1)
38 GHz	2,048 (1E1); 4,1 (2E1); 8,448 (4E1); 17 (8E1); 34,368 (16E1); 43,008 (STM0); 155,52 (STM1)	34,368 (16E1)

Sobre a tabela 18, vale fazer as seguintes observações:

- as taxas permitidas são taxas brutas aproximadas, isto é, contendo informação útil (mensagem) somada às informações de controle (sobrecarga);
- E1 é taxa de transmissão básica da hierarquia PDH (Plesiochronous Digital Hierarchy) igual a 2,048 Mbps [31];
- sistemas que operam utilizando tecnologia de espalhamento espectral (*spread spectrum*), nas faixas de frequências 902-907,5 MHz, 915-928 MHz, 2400-2483,5 MHz e 5725-5850 MHz, possuem características sistêmicas bastante particulares se comparados aos sistemas tradicionais; os sistemas ponto-a-ponto operando segundo tais técnicas, tendem a ser menos críticos quanto à eficiência de utilização do espectro; o uso destes equipamentos é regido por regulamento que trata da operação de equipamentos de radiação restrita [32].

#### 6.2.1.1.2.

##### Fatores de sobrecarga, $f_{sc}$

A partir das taxas de transmissão brutas (com sobrecarga) para as diversas capacidades do PDH e do STM-1 [31], apresentadas na tabela 18, o fator de sobrecarga,  $f_{sc}$ , é obtido da seguinte maneira:

- é sabido que 1E1 é composto por 32 canais de 64 kbps, gerando uma taxa de transmissão bruta de  $32 \times 64 \text{ kbps} = 2048 \text{ kbps}$ ;
- destes 32 canais, 30 são de voz e 2 são de sinalização;
- chega-se, então, a uma relação de  $f_{sc}$  para 1E1:  $f_{sc} = 30/32 = 0,9375$ ;
- multiplicando-se  $f_{sc}$  pela taxa de transmissão bruta do E1, obtém-se a taxa líquida:  $0,9375 \times 2048 \text{ kbps} = 1920 \text{ kbps}$ , que é o mesmo que 30 canais úteis de voz  $\times$  64 kbps.

De posse do número de canais úteis de voz de 1E1 (30 canais) e conhecendo as taxas brutas para cada hierarquia superior a 1E1 (apresentadas na tabela 19) e a forma de composição de cada hierarquia (2E1, 4E1, e assim por diante), chega-se aos fatores,  $f_{sc}$ , para as capacidades de interesse.

Tabela 13. Fatores de sobrecarga (*overhead*)

Faixas de frequências	capacidade	Fator de sobrecarga, $f_{sc}$
400 MHz e 1,5 GHz	1E1	0,9375
18 GHz (baixa capacidade)	2E1	0,9366
15 GHz	4E1	0,9091
7,5 GHz e 23 GHz	8E1	0,9035
8,5 GHz e 38 GHz	16E1	0,8939
6,7 GHz e 18 GHz (média e alta capacidades)	21E1, STM0	0,9375
4 GHz; 5 GHz; 6 GHz; 8 GHz; 11 GHz e 23 GHz (alta capacidade)	63E1. STM1	0,7778

### 6.2.1.1.3. Número de canais de voz

Conforme definido anteriormente, sistemas ponto-a-ponto analógicos têm sua capacidade de transmissão definida pela quantidade de canais de voz trafegada. Os números estão definidos na tabela 20.

Tabela 14. Número de canais de voz para sistemas analógicos

Faixas de frequências (MHz)	Número permitido de canais de voz	Número de canais de voz de referência
225,00 a 242,50	24 ou 60	60
242,50 a 247,50	1	1
247,50 a 256,25	24 ou 60	60
256,25 a 261,25	1	1
261,25 a 270,00	24 ou 60	60
270,00 a 328,60	24 ou 60	60
360,40 a 362,90	1	1
362,90 a 379,15	5, 6, 12, 24 ou 60	60
379,15 a 381,65	1	1
381,65 a 397,90	5, 6, 12, 24 ou 60	60
406,1 a 420,0	5, 6, 12, 24 ou 60	60
450,0 a 470,0	1	1

#### 6.2.1.1.4. Faixas de frequências, B

Para cada faixa de frequências e capacidade de referência são definidas as larguras de faixa ocupadas conforme mostrado na tabela 21.

Tabela 15. Largura de faixa de frequências ocupada

Faixas de frequências	Capacidade de referência	Largura de faixa ocupada (MHz)
225 a 470 MHz	(analógico)	0,025
400 MHz	1E1	1,75
1,5 GHz	1E1	1,75
4 GHz	STM1	28
5 GHz	STM1	40
6 GHz	STM1	29,65
6,7 GHz	STM0	20
7,5 GHz	8E1	7
8 GHz	STM1	29,65
8,5 GHz	16E1	28
11 GHz	STM1	40
15 GHz	4E1	7
18 GHz (baixa capacidade)	2E1	5
18 GHz (média e alta capacidades)	STM0	27,5
23 GHz	8E1	14
23 GHz (alta capacidade)	STM1	50
38 GHz	16E1	28

#### 6.2.1.2. Características sistêmicas e de rádio-transceptores

Estas características são apresentadas a seguir e seus valores específicos podem ser encontrados na regulamentação específica [18].

- potência de transmissão máxima na saída do transmissor ou na entrada do circuito alimentador da antena;
- taxa de transferência bruta mínima, quando não definida na regulamentação de canalização e condições de uso para cada faixa de frequências específica;

- sensibilidade do receptor para taxas de erro de bit de  $10^{-3}$  e  $10^{-6}$ ; dependente do número de níveis do esquema de modulação empregado,
- relação  $C/I$  que garante uma degradação máxima de 1 dB na sensibilidade do receptor, para taxa de erro de bit de  $10^{-6}$ .

Alguns dos regulamentos da Anatel [18] que mencionam características sistêmicas de equipamentos são:

- anexo à Resolução n° 360, de 1° de abril de 2004: transmissores e transceptores ponto-a-ponto digitais operando em frequências abaixo de 1 GHz;
- anexo à Resolução n° 361, de 1° de abril de 2004: transmissores e transceptores ponto-a-ponto monocanais analógicos FM e PM operando em frequências abaixo de 1 GHz;
- anexo à Resolução n° 369, de 13 de maio de 2004: transmissores e transceptores ponto-a-ponto digitais operando em frequências acima de 1 GHz;
- anexo à Resolução n° 370, de 13 de maio de 2004: transmissores e transceptores ponto-a-ponto monocanais analógicos AM;
- Portarias e Resoluções sobre condições de uso de faixas de radiofrequências [18].

Muitas das características sistêmicas de transceptores monocanais analógicos são encontradas na regulamentação de canalização e condições de uso específica [18] para a faixa de frequências utilizada e o tipo de serviço.

São utilizados para os cálculos comprimentos típicos de enlace,  $D$ , nas várias faixas de frequências de operação.

A seguir, é apresentado um conjunto de tabelas contendo parâmetros sistêmicos e específicos de equipamentos.

#### **6.2.1.2.1. Sensibilidade**

São apresentados na tabela 22 parâmetros típicos de equipamentos [31] operando nas diversas capacidades de transmissão permitidas.

Tabela 16. Valores de sensibilidade de receptor

Faixas de Frequências	Capacidade de referência	Sensibilidade de referência (dBm)	
		TEB = $10^{-3}$	TEB = $10^{-6}$
400 MHz e 1,5 GHz	1E1	-94	-91
18 GHz (baixa capacidade)	2E1	-91	-88
15 GHz	4E1	-88	-85
7,5 GHz e 23 GHz	8E1	-86	-83
8,5 GHz e 38 GHz	16E1	-83	-80
6,7 GHz e 18 GHz (média e alta capacidades)	STM0*	-83	-80
4 GHz; 5 GHz; 6 GHz; 8 GHz; 11 GHz e 23 GHz (alta capacidade)	STM1**	-77	-74

#### 6.2.1.2.2.

#### Atenuação no circuito de alimentação e recepção

Para sistemas PDH, considera-se como referência uma atenuação total de 8 dB (transmissão e recepção somadas) ocorrida nos circuitos de alimentação e recepção. Em sistemas SDH adota-se o valor de 5 dB.

Embora haja diferenças na atenuação conforme as faixas de frequências adotadas, considera-se, com base em valores obtidos em experiências práticas, que não serão geradas discrepâncias relevantes na metodologia se esta aproximação for implementada nos cálculos.

#### 6.2.1.2.3.

#### Margem mínima, $M_m$

Este estudo especifica que o parâmetro  $M_m$  deve assumir o valor de 35 dB. As margens típicas de sistemas ponto-a-ponto vão de 35 a 40 dB [31]. O valor de 35 dB foi escolhido arbitrariamente.

#### 6.2.1.2.4. Comprimentos mínimos para o enlace de referência

A tabela 23 ilustra os valores determinados para D para algumas faixas de frequências.

Tabela 17. Comprimentos mínimos de enlace

Faixas de frequências	Comprimento mínimo (km)
400 MHz	60
1,5 GHz <sup>1</sup>	60
4 GHz	26
5 GHz	22
6 GHz	20
6,7 GHz <sup>2</sup>	43
7,5 GHz <sup>2</sup>	33
8 GHz	15
8,5 GHz <sup>2</sup>	18
11 GHz	14
15 GHz <sup>2</sup>	20
18 GHz	6
23 GHz	3
38 GHz	1,5

<sup>1</sup> É obtido valor igual ao da faixa de 400 MHz pelo fato do ganho típico de antenas em 1,5 GHz ser significativamente superior aos ganhos encontrados em 400 MHz, compensando a maior atenuação de propagação experimentada na primeira faixa de frequências.

<sup>2</sup> O valor obtido não segue a tendência de decréscimo de distância pelo fato principal de que receptores típicos nesta faixa de frequências possuem melhores (menores) sensibilidades.

Os valores constantes da tabela 23 foram obtidos considerando, sempre que disponíveis, dados reais de potência de equipamentos e ganhos de antenas para cada faixa. Para todos os outros parâmetros necessários ao cálculo da estimativa de distância são usados os valores mostrados neste estudo e propagação em espaço livre.

### 6.2.1.3. Máscaras de diagrama de radiação e ganhos

Os documentos da Anatel [18] que definem máscaras de radiação são:

- anexo à Resolução n° 367, de 13 de maio de 2004: antenas direcionais de abertura;
- anexo à Resolução n° 372, de 19 de maio de 2004: antenas setoriais e omnidirecionais.

A tabela 24 apresenta os ganhos típicos de antenas para as diversas faixas de frequências de interesse.

Tabela 18. Ganhos típicos de antenas

Faixas de frequências	Ganho (dBi)
400 MHz	20
1,5 GHz	30
4 GHz	39
5 GHz	40
6 GHz	42
6,7 GHz	42
7,5 GHz	42
8 GHz	43
8,5 GHz	43
11 GHz	45
15 GHz	41
18 GHz	43
23 GHz	43
38 GHz	42

### 6.2.2. Exemplo de cálculo da EUE

Nesta seção, é apresentado um exemplo de cálculo para a eficiência de uso do espectro. São empregados os parâmetros para sistemas ponto-a-ponto apresentados para a faixa de frequências de 8,5 GHz.

Os parâmetros calculados são apresentados em tabelas, na sequência requerida pela metodologia, finalizando na tabela que mostra o valor de EUE para o sistema ponto-a-ponto operando na faixa de frequências de 8,5 GHz.

Tabela 19. Taxas de transmissão bruta e fatores de sobrecarga  $f_{sc}$

Faixa de frequências	Taxa bruta de referência [Mbps]	$f_{sc}$ de referência
8,5 GHz	43,008 (STM0)	0,8939

Tabela 20. Taxas de transmissão líquida, M, distâncias de transmissão da informação, D, e largura de faixas de frequências, B

Faixa de frequências	Taxa líquida de referência [Mbps]	Distância de referência [km]	Largura de faixa ocupada de referência [MHz]
8,5 GHz	38,44	18	28

As próximas tabelas contêm parâmetros necessários ao cálculo da área geográfica negada.

Tabela 21. Abertura angular,  $\theta$

Faixa de frequências	Abertura angular [graus] <sup>1</sup>	Quantidade de $\theta$ definidos para esse estudo <sup>2</sup>
8,5 GHz	10	3

<sup>1</sup> Corresponde, aproximadamente, ao ângulo de meia potência da máscara de diagrama de radiação considerada.

<sup>2</sup> As aberturas  $\theta$  são homogêneas (mesmo valor) e na quantidade especificada nesta coluna.

A seguir, ainda como parte da determinação dos parâmetros necessários ao cálculo da área geográfica negada, são apresentados cálculos para os parâmetros  $I_{RX}$  e  $G_{TX}$ .

Tabela 22. Frequências centrais e parâmetros de sistema radiante

Faixa de frequências	$P_{TX}$ [dBm]	$L_{C\ TX}$ [dB]	$L_{C\ RX}$ [dB]	$G_{RX}$ [dBi]	$f$ [MHz] <sup>2</sup>
8,5 GHz	30 <sup>1</sup>	4,0	4,0	43,0	8,45

<sup>1</sup> Conforme disposto no Anexo à Resolução n° 369, de 13 de maio de 2004, e Norma n° 106/99, ambas da Anatel [18].

<sup>2</sup> Frequência central da faixa alta de frequências.

Neste estudo foram apresentados dois métodos para a obtenção de  $I_{RX}$ :

- diretamente através da relação  $C/I$  de receptores; e
- a partir da margem mínima tolerada por receptores.

Tabela 23. Ganhos de transmissão, segundo aberturas angulares  $\theta$

Faixa de frequências	Abertura $\theta_1$	Abertura $\theta_2$	Abertura $\theta_3$
	$G_{TX1}$	$G_{TX2}$	$G_{TX3}$
8,5 GHz	39,5	43,0	39,5

Sobre os valores constantes da tabela 29 são feitas as seguintes observações:

- foram considerados os diagramas co-polares para transmissão e recepção em polarização vertical (VV);
- a abertura  $\theta_2$  está centrada no lobo principal da antena;
- as aberturas  $\theta_1$  e  $\theta_3$  são adjacentes à  $\theta_2$ ;
- os ganhos de referência são obtidos a partir das máscaras classe 1 encontradas no anexo à Resolução n° 367, de 13 de maio de 2004, da Anatel [18].

Tabela 24. Valores de  $l_{eq}$

Faixa de frequências	$C/I$ [dB]	$I_{eq}$ [dBm] <sup>2</sup>
8,5 GHz	23,0 <sup>1</sup>	-103,0

<sup>1</sup> Obtido do anexo à Resolução no 369, de 13 de maio de 2004, da Anatel [18].

<sup>2</sup> O valor de  $C$  considerado é definido para taxa de erro de  $10^{-6}$ .

Tabela 25. Parâmetros de degradação

Faixa de frequências	Margem calculada/desejada, $M_C$ [dB] <sup>1</sup>	Margem mínima, $M_m$ [dB]	Degradação máxima, $D_M$ [dB]	Degradação presente, $D_S$ [dB] <sup>2</sup>	Degradação máxima gerada, $D$ [dB]
8,5 GHz	42,0	35,0	7,0	3,0	4,0

<sup>1</sup> Valor típico, arbitrado.

<sup>2</sup> Conforme proposto neste estudo.

Com a finalidade de exercitar a metodologia para o exemplo de cálculo da EUE do sistema em 8,5 GHz, a determinação de  $I_{RX}$  será realizada por meio da utilização da margem mínima tolerada por receptores, por ser esse método o que possui mais etapas e requer mais dados de entrada.

Nesse ponto, já pode ser calculada a interferência  $I_{RX}$  permitida nos receptores do cenário, considerando a inclusão do transmissor que gerará área negada. O passo seguinte a este cálculo é a determinação das áreas dos setores angulares e da área geográfica total negada. Por fim, determina-se a EUE.

Na determinação da atenuação adicional por difração,  $A_d$ , necessária ao cálculo do parâmetro A, foi escolhido o valor de  $h/F1 = -2$ . Este valor foi estabelecido para que seja considerada a presença de obstrução por relevo ou mesmo pela curvatura da Terra e que seja gerado valor de atenuação adicional por difração compatível com observações práticas [31]. Esta afirmação pode ser constatada observando-se os valores de raios obtidos, coerentes com os valores limite de distância de interferência praticados para esta faixa de frequências.

Tabela 26. Parâmetros de interferência e raio de setores circulares

Faixa de frequências	$I_{RX}$	Abertura $\theta_1$		Abertura $\theta_2$		Abertura $\theta_3$	
		$A_1$	$R_1$	$A_2$	$R_2$	$A_3$	$R_3$
8,5 GHz	-101,2	44,7	172,3	48,2	257,9	44,7	172,3

As unidades das grandezas mencionadas na tabela 32 são:  $I_{RX}$  [dBm], A [dBm] e R [km]. Para a tabela 33, a unidade das grandezas é [km<sup>2</sup>].

Tabela 27. Áreas dos setores circulares e somatório de áreas

Faixa de frequências	Abertura $\theta_1$	Abertura $\theta_2$	Abertura $\theta_3$	Área negada pelo transmissor
	$A_{S1}$	$A_{S2}$	$A_{S3}$	S
8,5 GHz	2591,9	5802,5	2591,9	305,2

Tabela 28. Eficiência de utilização do espectro

Faixa de frequências	EUE [Mbps.km.MHz]
8,5 GHz	0,081

### 6.3. Aplicação dos indicadores de EUE para sistemas de radiodifusão

Na definição da eficiência espectral para este exemplo foram observados, além dos dados típicos dos sistemas de radiodifusão, as recomendações da UIT [28] que trazem dados de referência para planejamento e projeto de sistemas de radiodifusão.

#### 6.3.1. Sistemas de radiodifusão em FM

Os sistemas utilizando modulação FM para radiodifusão sonora são amplamente usados no Brasil e a maioria dos parâmetros definidos foram obtidos de equipamento típicos e são mostrados nas tabelas a seguir. Os valores de ganho de antena, potência de transmissão, perda nos cabos e conectores, relação sinal/ruído e sensibilidade do receptor, e a frequência portadora são típicos, embora arbitrários. A altura da antena, tanto da estação transmissora quanto receptora, foram escolhidas por conveniência de aplicação segundo a regulamentação [18, 28].

Tabela 29. Parâmetros para sistemas FM

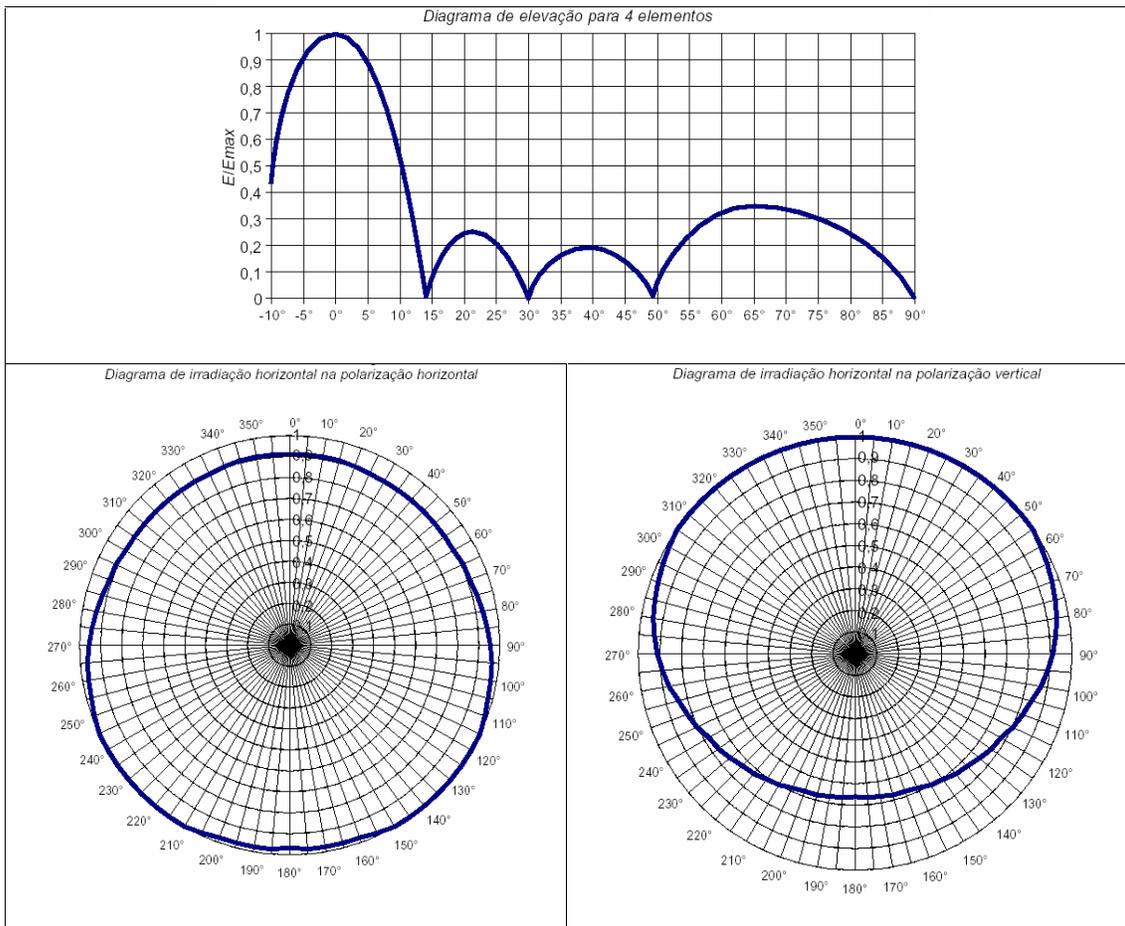
Faixa de frequências de operação	87,8 MHz a 108 MHz
Frequência portadora	104,3 MHz
Modulação	FM
Sensibilidade do receptor	18 dB $\mu$ V/m (-89 dBm)
Relação sinal/ruído mínima no receptor	40 dB
Altura da antena (receptor)	10 m
Altura da antena (transmissor)	150 m
Perdas totais nos cabos	8 dB
Perdas totais nos conectores	2,9 dB
Largura de faixa do canal	200 kHz
Potência de transmissão	15 kW (Classe A3)

Para a antena do sistema testado, são apresentados os dados nas tabelas 36 e 37. Esta antena foi considerada por ter diagrama horizontal praticamente omnidirecional.

Tabela 30. Parâmetros para a antena do sistema FM

	Polarização	Circular
	Potência máxima de entrada	15 kW
	Conector	Flange 1,5/8"
	Ganho (4 elementos)	3,22 dBd (5,37 dBi)
	VSWR	1,1:1 ( $\pm$ 200 kHz)
	Impedância	50 $\Omega$
	Dimensões (por elemento)	Comprimento: 1,1 m
	Área exposta (por elemento)	0,105 m <sup>2</sup>

Tabela 31. Diagrama de radiação e de elevação para a antena de FM



De posse dos dados apresentados nas seções anteriores, avaliaremos a eficiência de uso do espectro para um sistema em FM.

A quantidade de informação,  $M$ , é obtida com o uso da eq. (62). A tabela 38 apresenta os valores das variáveis necessárias para a determinação da quantidade de informação.

Tabela 32. Valores das variáveis para cálculo de  $M$

$N_c$	1
$p$	90,2%
$a$	100%
$\rho$	92,14
$A_c$	9411,80 km <sup>2</sup>
Relação de proteção	34 dB (interferência co-canal)
Interferência	-75 dBm (contorno protegido)
Contorno protegido	Contorno 2 (área urbana)
Contorno interferente	272 km (estação classe 3)
$L_{cc}$	10,9 dB
$d$	54,73 km
Área negada (devido à distância entre estações interferentes)	232.427,59 km <sup>2</sup>
$B$	200 kHz
$T$	1 (Top = 24h)
EUE	0,017 [residência/kHz.km <sup>2</sup> ]

O sistema a ser considerado é analógico, portanto, com número de canais igual a 1.

A penetração de receptores em residências para o sistema em FM será aquela registrada para o Brasil, conforme tabela 39.

A audiência do sistema será, como comentado anteriormente, a mesma do sistema ideal, ou seja, 100%.

A densidade de residências na área de cobertura é obtida por meio da eq. (59). A densidade populacional é considerada para o cálculo da densidade de residências e pode ser obtida no IBGE [26]. Os cálculos consideram a densidade populacional de Brasília, cujos dados são apresentados a tabela 40.

Tabela 33. Penetração de receptores de radiodifusão sonora FM

Região	Número de domicílios	Penetração
Norte	2.050.000	78,6%
Nordeste	8.802.000	81,8%
Centro-Oeste	2.622.000	88,0%
Sudeste	18.273.000	94,7%
Sul	6.653.000	96,0%
Brasil	38.400.000	90,2%

Tabela 34. Dados sobre a cidade de Brasília

Município	Brasília
Estado	Distrito Federal
Área (km <sup>2</sup> )	5.822
População (hab)	2.145.839
Densidade Populacional (hab/km <sup>2</sup> )	368,57

A proteção das emissoras é considerada assegurada para um serviço livre de interferências quando, no seu contorno protegido, a relação entre o sinal desejado e cada um dos sinais interferentes tiver, no mínimo, o valor da relação de proteção indicada. Neste caso, consideraremos a relação de proteção igual a 34 dB para avaliarmos o pior caso, ou seja, interferência co-canal. Assim, o valor da interferência máxima no limite de distância definido pelo contorno protegido será de -75 dBm [18].

Para o cálculo da área de cobertura e área negada pelo transmissor será necessário determinar os contornos de serviço para a estação, mencionados na tabela 41. O contorno protegido será igual ao contorno 2 conforme determina o regulamento aprovado pela Resolução nº 67 de 1998, da Anatel [18], para área urbana. O contorno interferente depende da distância em que outras estações operando na mesma frequência estiverem da estação sob análise. Neste exemplo, considera-se a distância mínima entre estações de 272 km, indicada na regulamentação [18], tomando como exemplo uma estação vizinha enquadrada na classe E3.

Os dados de projeto, obtidos a partir das exigências da regulamentação, para determinação da área de cobertura encontram-se na tabela 42.

Tabela 35. Contornos de serviço

Área de Serviço Primária (Contorno 1)	74 dB $\mu$ m (5 mV/m)
Área de Serviço Urbana (Contorno 2)	66 dB $\mu$ m (2 mV/m)
Área de Serviço Rural (Contorno 3)	entre o contorno 2 e o contorno de 54 dB $\mu$ m (0,5 mV/m)

Tabela 36. Dados de projeto

Contorno protegido	66 dB $\mu$ V/m (-41 dBm)
Distância máxima ao contorno protegido	31 km
Altura de referência sobre o nível médio da radial	150 m

Neste momento, cumpre avaliar o raio  $d$  para o cálculo das áreas negada e de cobertura de acordo com os contornos protegido, interferente ou de serviço, conforme determina o modelo de propagação da Recomendação UIT-R P.1546-1 [22]. Esta recomendação apresenta um procedimento passo-a-passo para obtenção dos valores de intensidade de campo conforme descrito no capítulo 5.

De posse de todos os dados podemos obter as áreas de interesse cumprindo o seguinte roteiro:

- avaliar os valores de campo:

$$E_{\max} = E_{fs} = 106,9 - 20\log(d) \quad (83)$$

- determinar a perda por propagação:

$$L_b = 139 - E + 20\log(f) = 32,1 + 20\log(d) + 20\log(f) \quad (84)$$

- avaliar o percurso do sinal transmitido:

$$C_p = P_t - L_{cc} + G_a - L_b + G_R \quad (85)$$

- determinar a distância:

$$d = 10^{\frac{P_t - L_{cc} + G_T + G_R - C_p - 20\log(f) - 32,1}{20}} \quad (86)$$

onde:  $P_t$  é a potência de transmissão em dBm;

$L_{cc}$  é perda nos cabos e conectores;

$G_T$  é o ganho da antena de transmissão;

$G_R$  é o ganho da antena de recepção;

$C_p$  é o valor do campo para atendimento ao requisito de contorno protegido;

$L_b$  é a perda básica de propagação;

$f$  é a frequência em MHz; e

$d$  é a distância que determina o contorno protegido.

As perdas totais nos cabos e conectores somadas resultaram em 10,9 dB. Efetuando o cálculo da eq. (86) obtém-se a distância de 54,73 km da estação até o contorno protegido.

Considerando o uso da antena omnidirecional mencionada, calcula-se então a área de cobertura, resultando em 9.411,80 km<sup>2</sup>.

Define-se assim o valor para  $M$ .

O próximo passo é o cálculo da área negada. Como mencionado anteriormente, pode-se utilizar a área do município ou a área definida pela distância mínima entre estações interferentes. Neste exemplo foi feita opção por esta última alternativa. Assim, a área negada, também calculada, é igual a 232.427,59 km<sup>2</sup>.

A largura de faixa de canal é a definida para os sistemas de FM, 200 kHz.

O fator de tempo, considerando-se transmissão durante 24 horas e o tempo mencionado no contrato de igual valor, é igual a 1.

A EUE para o sistema em FM é, portanto, igual a 0,017 [residência/kHz.km<sup>2</sup>].

### 6.3.2.

#### Sistemas de radiodifusão de TV

Os sistemas de TV analógica são bastante populares no Brasil, sendo os seus parâmetros de operação dos equipamentos bastante conhecidos. Os valores definidos foram obtidos de equipamentos típicos, da regulamentação nacional [18] ou de recomendações da UIT [28] e são mostrados na tabela 43. A tabela 44 mostra os dados para a antena do sistema de TV escolhido.

De posse dos dados apresentados nas tabelas, realiza-se os cálculos para avaliar a eficiência do sistema de TV.

A quantidade de informação,  $M$ , é obtida utilizando as variáveis mostradas na tabela 45.

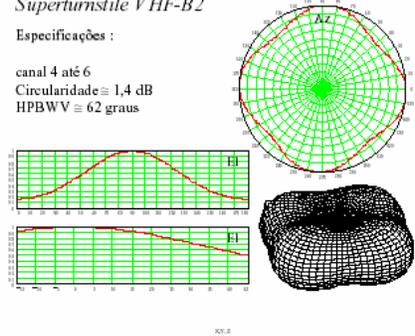
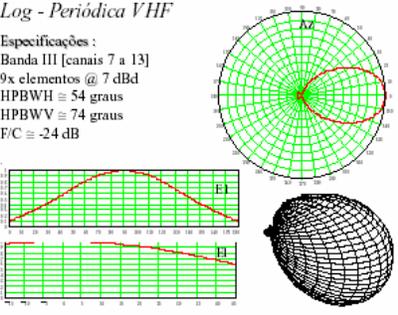
Para a TV analógica, o número de canais para o sistema é igual a 1 (um).

A penetração de receptores de TV encontra-se na tabela 46 [26]. O sistema testado está localizado no Distrito Federal e considera dados para esta localidade.

Tabela 37. Parâmetros para sistemas de TV

Faixa de frequências de operação	54 MHz a 88 MHz / 174 MHz a 216 MHz 470 MHz a 608 MHz / 614 MHz a 746 MHz
Frequência portadora de vídeo	67,25 MHz (canal 4)
Frequência portadora de áudio	71,75 MHz (canal 4)
Modulação	AM-VSB (vídeo) e FM (áudio)
Altura da antena (receptor)	10 m
Altura da antena (transmissor)	150 m
Perdas totais nos cabos	12 dB
Perdas totais nos conectores	3,8 dB
Largura de faixa do canal	6 MHz
Potência de transmissão	10 kW (Classe A)

Tabela 38. Parâmetros para a antena do sistema de TV

Transmissor:	
<p>• <i>Superturnstile</i></p> <p>Especificações :</p> <p>Faixa: VHF Polarização: linear Ganho: 0,5 dBd Impedância: 50 <math>\Omega</math> VSWR : 1: 1,1 Conector: EIA Potência : &lt; 10 kW L x C : 0,5 <math>\lambda</math> x 0,7 <math>\lambda</math> Pêso : [100 - 250] Kg Área vento : [1,5 - 3,5] m<sup>2</sup></p> 	<p><i>Superturnstile VHF-B2</i></p> <p>Especificações :</p> <p>canal 4 até 6 Circularidade <math>\cong</math> 1,4 dB HPBWV <math>\cong</math> 62 graus</p> 
Receptor:	
<p>• <i>Log - Periódica</i></p> <p>Especificações :</p> <p>Faixa: VHF + UHF Polarização: linear ou circular Ganho: [6 - 10] dBd Impedância: 50 / 75 <math>\Omega</math> VSWR : 1: [1,2 - 1,5] Conector: N / F Potência : &lt; 100 W L x C : 0,5 <math>\lambda</math> x 1,5 <math>\lambda</math> Pêso : [5 - 15] Kg Área vento : [0,3 - 0,6] m<sup>2</sup></p> 	<p><i>Log - Periódica VHF</i></p> <p>Especificações :</p> <p>Banda III [canais 7 a 13] 9x elementos @ 7 dBd HPBWH <math>\cong</math> 54 graus HPBWV <math>\cong</math> 74 graus F/C <math>\cong</math> -24 dB</p> 

A audiência deste sistema será a mesma do sistema ideal, de 100%.

A densidade de residências na área de cobertura é obtida por meio da eq. 59.

O sistema considerará a densidade populacional de Brasília, cujos dados encontram-se na tabela 40.

Tabela 39. Valores para cálculo de M

Pt	10 kW
N <sub>c</sub>	1
p	96,4%
a	100%
ρ	92,1425
A <sub>c</sub>	27024,97 km <sup>2</sup>
Relação de proteção	45 dB (interferência co-canal)
Interferência	-39 dBm (contorno protegido)
Contorno protegido	Contorno 2 (área urbana)
Lcc	15,8 dB
d	92,75 km
Área negada (do município)	5.822 km <sup>2</sup>
B	6 MHz
T	1 (Top = 24h)
EUE	0,069 [residência/kHz.km <sup>2</sup> ]

Como no caso apresentado para a radiodifusão sonora em FM, a proteção das emissoras será assegurada contra interferências quando o valor do contorno protegido obedecer o valor da relação de proteção adequada, que neste caso será de 45 dB para o caso de interferência co-canal (pior caso). O valor para o contorno protegido será, portanto, de -39 dBm, considerando-se o atendimento a uma região correspondente ao contorno 2 (área urbana) [27].

Para o cálculo da área de cobertura e área negada determina-se os contornos de serviço conforme estabelece o regulamento aprovado pela Resolução n° 284 de 2001 [27], da Anatel, e está mostrado na tabela 47.

Para a avaliação da distância, d, para determinação da área de cobertura e área negada, procede-se da mesma maneira realizada para sistemas de radiodifusão sonora em FM, utilizando-se do modelo da Rec. UIT-R P.1546-1 [22].

Tabela 40. Penetração de receptores de radiodifusão de TV

UF	Penetração
AC	73.3
AL	85.7
AM	74.9
AP	72.2
BA	74.5
CE	79.8
DF	96.4
ES	90.2
GO	87.9
MA	62.9
MG	87.8
MS	87.3
MT	77.8
PA	69.3
PB	87.4
PE	85.1
PI	69.2
PR	89.1
RJ	97.5
RN	88.9
RO	72.7
RR	79.2
RS	93.1
SC	92.6
SE	86
SP	96.2
TO	51.8

Considerando os dados do sistema apresentados anteriormente e efetuando os cálculos da eq. (86) obtém-se a distância de 92,75 km da estação até o contorno protegido (contorno 2). A área de cobertura, considerando a antena praticamente omnidirecional, é igual a 27.024,97 km<sup>2</sup>.

Com o valor de M definido avalia-se a área negada que, neste caso, é a de Brasília. Esta área pode ser definida como a área do município ou do conjunto de

municípios cobertos pela emissora. Caso haja informação detalhada do terreno e disponibilidade de *software*, a área poderá ser avaliada com mais precisão. A área de Brasília é de 5.822 km<sup>2</sup>.

Tabela 41. Valores de intensidade de campo nos contornos de serviço

CANAIS	CONTORNO 1 (dBu)	CONTORNO 2 (dBu)	CONTORNO 3 (dBu)
VHF - 2 a 6	74	68	54
VHF - 7 a 13	77	71	60
UHF - 14 a 59	80	74	70

A largura de faixa de canal para sistemas de TV analógica é de 6 MHz.

O tempo de transmissão e o tempo de contrato da emissora em questão são idênticos e iguais a 24 (vinte e quatro) horas.

A EUE do sistema de TV avaliado é, então, igual a 0,069 [residência/kHz.km<sup>2</sup>].

### 6.3.3. Sistemas de radiodifusão de TV digital

Os dados para o estabelecimento de um teste para um sistema de radiodifusão de TV digital foram obtidos do relatório “Planejamento de canais de TV Digital” elaborado pelo CPqD [33]. Esta publicação foi adotada pois não é direcionada a nenhuma das tecnologias existentes, procurando ser a mais genérica possível.

São feitas analogias com o sistema analógico a fim de estabelecer quais variáveis são relevantes para o cálculo da EUE para os sistemas digitais de TV. Em princípio, todas são consideradas como nos sistemas analógicos, porém, a quantidade de canais é substancialmente alterada.

Para este exemplo, a qualidade de informação torna-se muito importante, pois definimos o número de canais,  $N_c$ , em função da informação analógica transportada por ele. Considerando o sistemas SDTV (*Standard Digital Television*) [33] como possuindo a mesma qualidade (resolução) do sistema analógico, todas as tecnologias testadas pelo CPqD, com pequenas diferenças, suportam até 4 (quatro) canais SDTV em um canal de largura de faixa igual à do canal analógico. Portanto, o  $N_c$  será igual a 4.

É selecionado o mesmo canal usado para a TV analógica. Os dados do transmissor e do receptor [33] encontram-se na tabela 48.

Tabela 42. Parâmetros para sistemas de TV digital

Faixa de frequências de operação	54 MHz a 88 MHz / 174 MHz a 216 MHz 470 MHz a 608 MHz / 614 MHz a 746 MHz
Frequência portadora	71 MHz (canal 4)
Modulação	8-VSB (ATSC), ou COFDM 64-QAM FEC 2/3 (DVB-T e ISDB-T) ou COFDM 64-QAM FEC 3/4 (DVB-T e ISDB-T)
Altura da antena (receptor)	Antena externa a 10 m
Altura da antena (transmissor)	150 m
Ruído térmico	-106,20 dBm
Figura de ruído no receptor	10 dB
C/N (dB)	15 + D (D=0 – ATSC, D=2 COFDM FEC 2/3, e D=4 COFDM FEC 3/4)
Potência mínima	(-81,2 + D) dBm
E (mínimo)	(36,12 + D) dBμV/m
Ganho da antena de TX	0,5 dBd (2,65 dBi)
Ganho da antena de RX	6,5 dBd (8,65 dBi)
Perdas totais nos cabos	2 dB
Perdas totais nos conectores	1 dB
Largura de faixa do canal	6 MHz
Potência de transmissão	-3 dBk (Classe A – VHF baixo)

O conjunto de relações de proteção apresentado no relatório do CPqD compreende interferências entre canais de TV Digital e canais de TV PAL-M, e baseou-se nos resultados dos testes de laboratório de TV Digital [33]. As relações de proteção dadas na tabela 48 representam condições de pior caso para as configurações 8-VSB (ATSC), COFDM 64-QAM FEC 2/3 (DVB-T e ISDB-T) e COFDM 64-QAM FEC 3/4 (DVB-T e ISDB-T).

Os estudos buscaram, também, manter uma relação constante de potência entre canais de TV analógica e de TV Digital com o mesmo contorno protegido a fim de possibilitar uma futura conversão de canais de TV analógica em canais de TV Digital, satisfazendo suas relações de proteção específicas.

Tabela 43. Relações de proteção

Canal interferente	Relação D/U (dB) (Canal desejado = N)			
	Analogico sobre Analogico	Digital sobre Analogico	Analogico sobre Digital	Digital sobre Digital
N-1 (adjacente inferior)	- 6	- 11	- 26	- 24
N (co-canal)	+ 28 (com decalagem) +45 (sem decalagem)	+ 34	+ 7	+ 19
N+1 (adjacente superior)	- 12	- 11	- 26	- 24
N-8 e N+8 (FI)	- 12	-25	-	-
N-7 e N+7 (oscilador local)	- 6	-24	-	-
N+14 (imagem de áudio)	- 6	-24	-	-
N+15 (imagem de vídeo)	+ 3	-22	-	-

O requisito de cobertura foi de 70% da área em 90% do tempo para antena externa. Para este exemplo, considera-se a cobertura de 100% da área determinada pelo contorno protegido, que neste caso é de 45 dB $\mu$ V/m (-62 dBm).

Considera-se a antena transmissora igual à antena utilizada para sistemas analógicos. A antena receptora terá ganho igual a 6,5 dBd.

O sistema testado para TV digital é avaliado na mesma região de Brasília em que foi avaliado o sistema de TV analógica. Assim, os dados de penetração e audiência são também os mesmos.

Considerando-se todas as aproximações realizadas e efetuando os cálculos como realizado para a TV analógica, obtém-se uma EUE de 20,99 [residência/kHz.km<sup>2</sup>].