



SERVIÇO WEB PARA A VISUALIZAÇÃO DE CANAIS DISPONÍVEIS NO ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DE ACORDO COM O RELEVO

Kayan Turazzi Almeida

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Computação e Informação da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Computação e Informação.

Orientadores: José Ferreira de Rezende
Marcel William Rocha da Silva

Rio de Janeiro
Fevereiro de 2014

SERVIÇO WEB PARA A VISUALIZAÇÃO DE CANAIS DISPONÍVEIS NO
ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DE ACORDO COM O RELEVO

Kayan Turazzi Almeida

PROJETO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE
COMPUTAÇÃO E INFORMAÇÃO DA ESCOLA POLITÉCNICA DA
UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE
DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
ENGENHEIRO DE COMPUTAÇÃO E INFORMAÇÃO.

Examinadores:

Prof. José Ferreira de Rezende, Dr.

Prof. Marcel William Rocha da Silva, D.Sc.

Prof. Aloysio de Castro Pinto Pedroza, Dr.

Prof. Ricardo Guerra Marroquim, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
FEVEREIRO DE 2014

Almeida, Kayan Turazzi

Serviço Web para a Visualização de Canais Disponíveis no Espectro de Frequência de acordo com o Relevo/Kayan Turazzi Almeida. – Rio de Janeiro: UFRJ/POLI – COPPE, 2014.

IX, 20 p.: il.; 29,7cm.

Orientadores: José Ferreira de Rezende

Marcel William Rocha da Silva

Projeto (graduação) – UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Computação e Informação, 2014.

Referências Bibliográficas: p. 19 – 20.

1. Rádios Cognitivos. 2. Banco de Dados. 3. REST. 4. HTML. 5. Web. 6. Javascript. 7. CSS. I. de Rezende, José Ferreira *et al.* II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica/ Curso de Computação e Informação. III. Título.

Agradecimentos

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram e acompanharam o meu desenvolvimento com conselhos de grande sabedoria e ternura. Agradeço ao meu irmão, sempre solícito e à minha irmã com sua animação contagiante, ambos vitais em momentos de dificuldade. Agradeço aos meus amigos pela paciência. Agradeço aos meus orientadores, Rezende e Marcel. Agradeço à UFRJ pelo aprendizado e pelas pessoas que pude conhecer ao fazer parte desta instituição.

Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Engenheiro de Computação e Informação.

**SERVIÇO WEB PARA A VISUALIZAÇÃO DE CANAIS
DISPONÍVEIS NO ESPECTRO DE FREQUÊNCIA DE ACORDO
COM O RELEVO**

Kayan Turazzi Almeida

Fevereiro/2014

Orientadores: José Ferreira de Rezende

Marcel William Rocha da Silva

Curso: Engenharia de Computação e Informação

Rádios Cognitivos são dispositivos capazes de escutar o meio e escolher frequências disponíveis para a transmissão de dados. A escolha do canal depende da disponibilidade do mesmo. O rádio realiza uma consulta à um servidor, que retorna os canais que estão livres naquela localização. Diferentes modelos de propagação do sinal são implementados no servidor, para realização do cálculo dos canais livres. O trabalho consiste em desenvolver um servidor Web ilustrando o espectro no Estado do Rio de Janeiro, implementar um novo modelo de propagação que considere o relevo, garantir a persistência dos dados calculados anteriormente e permitir uma melhor interação do usuário com o servidor.

Palavras-Chave: Rádios Cognitivos, Banco de Dados, REST, HTML, Web, Javascript, CSS.

Abstract of the Undergraduate Project presented to Poli/COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Computer and Information Engineer.

WEB SERVICE FOR AVAILABLE CHANNELS IN FREQUENCY SPECTRUM VISUALIZATION ACCORDING TO RELIEF

Kayan Turazzi Almeida

February/2014

Advisors: José Ferreira de Rezende

Marcel William Rocha da Silva

Course: Computer and Information Engineering

Cognitive Radios are devices capable of listening to the environment and select available frequencies for data transmission. The channel choice depends on its availability. The radio makes a query to a server, which returns the channels that are available on that location. Different signal propagation models are implemented on the server, for the available channels calculation. This work aims to develop a Web server showing the spectrum in the State of Rio de Janeiro, implement a note propagation model that considers the relief, guarantee the previous data calculation and allow a better user interaction with the server.

Keywords: Cognitive Radios, Data Base, REST, HTML, Web, Javascript, CSS.

Sumário

Lista de Figuras	viii
Lista de Tabelas	ix
1 Introdução	1
1.1 Motivação	3
1.2 Objetivo	4
1.2.1 Metodologia	4
2 Implementação da Base de Dados	5
2.1 Tecnologias Utilizadas	5
2.2 Arquitetura do Servidor	6
2.3 Cálculo dos Canais Disponíveis	6
2.4 Extensão dos modelos	11
2.4.1 Longley-Rice	11
Referências Bibliográficas	19

Lista de Figuras

1.1	Estimativa de tráfego diário de dados na Internet	1
1.2	Comportamento do rádio cognitivo em função do tempo	3
2.1	Modelo de propagação Free Space.	8
2.2	Modelo de propagação Two Ray Ground.	9
2.3	Refratividade média da superfície reduzida ao nível do mar.	15
2.4	Geometria de um caminho transhorizonte.	16

Lista de Tabelas

2.1	Valores para o parâmetro de irregularidade do terreno.	12
2.2	Intervalos válidos para os parâmetros de entrada.	13
2.3	Valores para a permissividade relativa e condutividade do solo.	13
2.4	Refratividade da superfície em função do clima da região.	14

Capítulo 1

Introdução

O espectro de frequências utilizado para a transmissão de dados é um bem finito. De acordo com estimativas da empresa de redes e telecomunicações Cisco [1], estima-se que em 2018, 20,6 bilhões de dispositivos de rede estarão em funcionamento e o tráfego de dispositivos móveis e sem fio serão maiores do que os dispositivos cabeados. O tráfego de dados na Internet atingirá a marca de 102,2 Exabytes por mês. Esse crescimento rápido tem como consequência o congestionamento do meio de transmissão dos dados. Como as frequências são limitadas, torna-se necessária a otimização do uso dos canais.

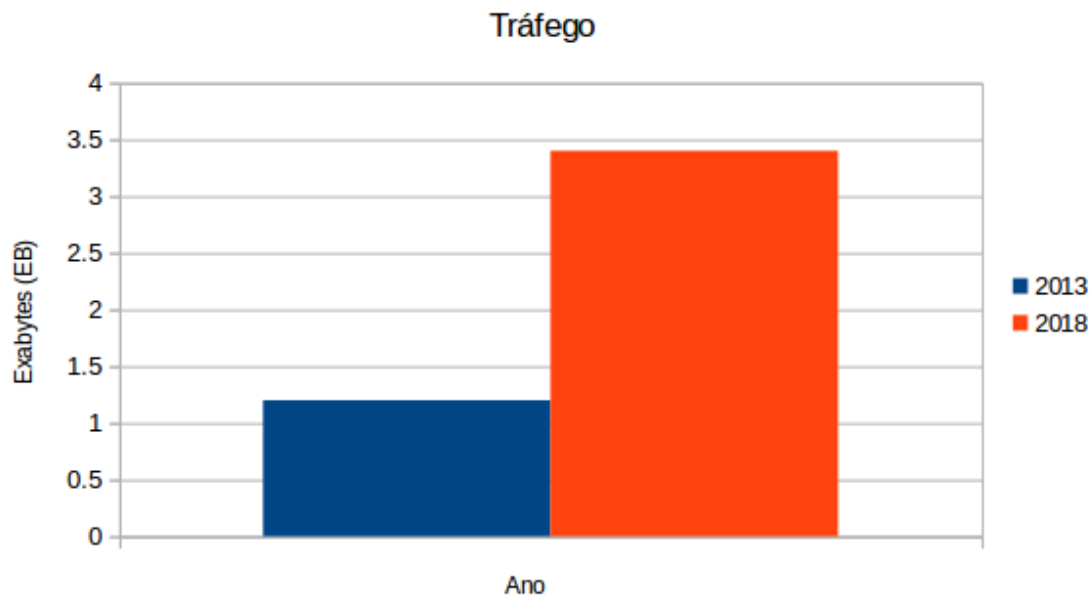


Figura 1.1: Estimativa de tráfego diário de dados na Internet

O uso desses canais é regulamentado por agências governamentais, uma para cada país. No Brasil existe a Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL), nos Estados Unidos são regulamentadas pela Federal Communications Commission

(FCC), na Europa o licenciamento fica a cargo da Electronic Communications Committee (ECC) .

As entidades podem comprar o direito de uso de um determinado canal de frequência para uma determinada região. Com isso, tornam-se "Usuários Primários"(UP) daquele canal. Porém, observa-se uma sub-utilização do canal, pois a entidade que o comprou não utiliza em toda a extensão da região. Esses espaços não utilizados, mas com UP, ou seja, com o direito de uso comprado por uma entidade, são chamados de WhiteSpaces (WS).

Esses WSs poderiam ser utilizados efetivamente por outros dispositivos, porém não são detentores da licença, gerando um desperdício de canal.

Pela definição do IEEE [2], rádios cognitivos são dispositivos móveis que podem mudar a frequência de transmissão que utilizam. Esses dispositivos se aproveitam do WS podendo utilizar as frequências licenciadas que não estão em uso pelos UPs. Para isso os dispositivos não licenciados, ou "Usuários Secundários"(US) devem ser capazes de determinar as frequências disponíveis.

Com isso, um rádio cognitivo é capaz de avaliar o espectro de frequência e escolher um canal livre para transmissão de dados, esse canal não pode estar sendo usado naquela região pelos UPs, senão geraria interferência. Não é do escopo desse trabalho o modo como o rádio cognitivo realiza a troca de canais. É assumido que os rádios cognitivos modificam sua frequência de transmissão de acordo com o canal que for selecionado.

Caso ocorra uma interferência, ou seja, quando um UP e um US estão compartilhando o canal, o rádio cognitivo deve interromper a transmissão imediatamente e buscar por outros canais livres.

Um rádio cognitivo pode utilizar dois modelos diferentes para escolha de um canal livre no espectro.

A primeira é pelo sensoramento. O Rádio Cognitivo deve possuir um hardware específico para ser capaz de analisar as diferentes frequências em utilização no espectro. Sua implementação é complexa e aumenta o custo de produção do Rádio, por conta do hardware específico. Os métodos de sensoramento do espectro não fazem parte do escopo desse trabalho.

A segunda forma é a criação de uma base de dados com a disponibilidade do espectro de frequência em uma dada localização. Com isso, o rádio cognitivo precisa apenas consultar essa base para saber quais canais estão livres naquele momento no seu local. No entanto, para consultar essa base, o rádio precisa estar conectado à rede previamente, limitando sua implementação.

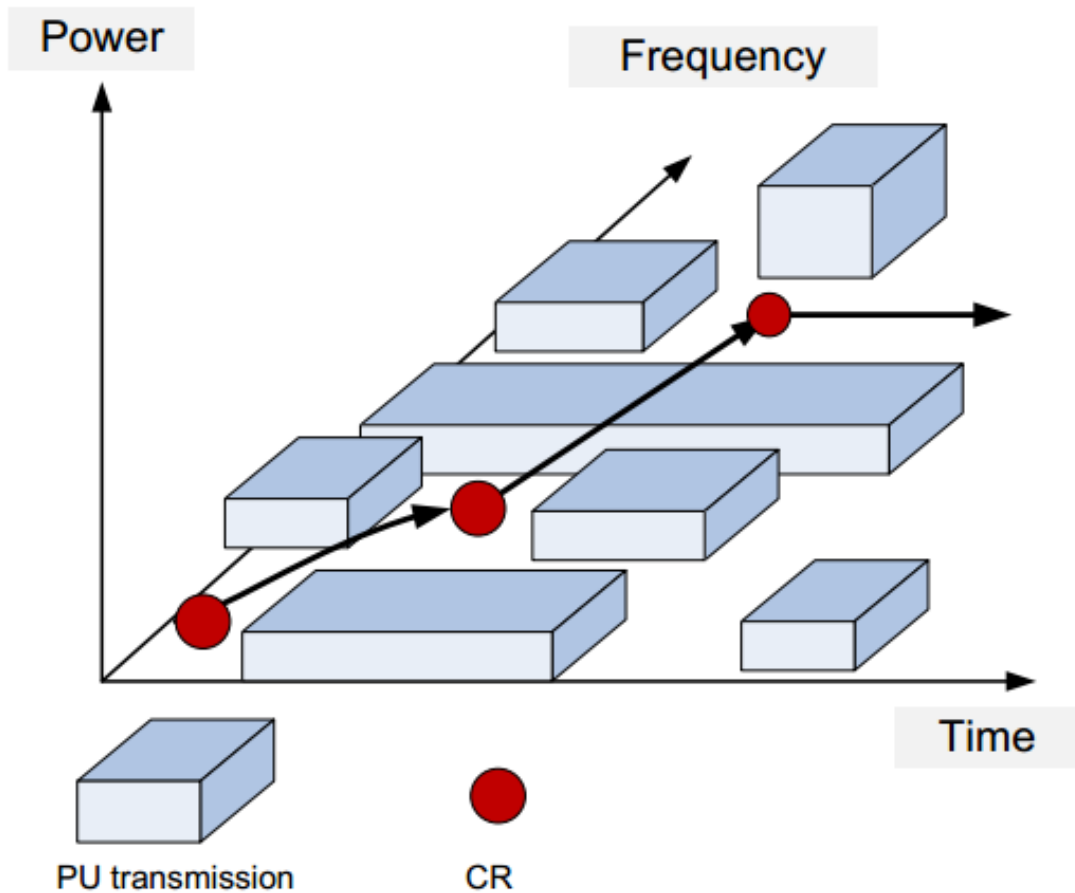


Figura 1.2: Comportamento do rádio cognitivo em função do tempo

1.1 Motivação

Utilizando o modelo de base de dados, todas as informações são centralizadas e controladas pelas agências reguladoras, o que é uma grande vantagem em cima do modelo de sensoriamento, pois caso fosse utilizado, o rádio não teria a necessidade de consultar a base da agência reguladora. Outra grande vantagem é a manutenibilidade, caso alguma resolução mude, basta aplicar essa regra na base que todos os rádios cognitivos seguirão, já que dependem da resposta da base. Caso seja via sensoriamento, seria necessário uma reprogramação dos rádios, o que seria custoso e demorado.

Atualmente, os Estados Unidos, Reino Unido já possuem essa base e outros países estão desenvolvendo, como o Canada. Também está em fase de desenvolvimento o Protocol to Access White Space database (PAWS), protocolo para comunicação entre os dispositivos e as bases de WSs [3], pelo Internet Engineering Task Force (IETF).

1.2 Objetivo

A base de dados foi implementada anteriormente e um servidor é responsável pela comunicação com dispositivos que queiram consultar a base. O objetivo desse trabalho foi dar continuidade ao desenvolvimento dessa base, adicionando tabelas e um novo modelo de propagação do sinal, que leve em consideração o relevo. Também criou-se um servidor Web para visualização do espectro em um mapa de calor, consulta de canais livres e visualização dos alcances das antenas.

1.2.1 Metodologia

No trabalho realizado foi tentado reproduzir as capacidades de sites já existentes, como o Spectrum Database, do Google [4]. Para isso, pesquisou-se bibliotecas para exibição de mapas geográficos em páginas Web e exibição de mapas de calor. Em seguida, foi modelado uma aplicação Web que servia uma página e permite a interação com a base dados, visualização dos dados e análise do espectro de frequência. Em seguida foi implementado também a visualização das antenas no Estado do Rio de Janeiro e seus respectivos alcances. Por fim, um novo modelo foi adicionado ao servidor, levando em conta o relevo do estado do Rio de Janeiro.

Capítulo 2

Implementação da Base de Dados

Um protótipo de uma Base de Dados de WhiteSpace (BDWS) foi implementado anteriormente por Marcelo Machado em seu trabalho de conclusão de curso [5]. Essa base é capaz de indicar a um US os canais livres no espectro de frequência, permitindo sua utilização. Para isso, a base possui informações sobre todos os UPs presentes. É passado como parâmetro de entrada a localização do US e a base retorna uma resposta com a lista de canais disponíveis para uso.

O espectro de frequência é extenso e utilizado para várias finalidades, como Transmissão de dados para satélites, rádio navegação e transmissão de TV. Atualmente, a base implementada possui apenas informações referentes ao espectro de transmissão de TV, que vai de 54 Mhz até 806Mhz [6] .

A base possui as informações referentes às antenas de televisão que operam na região do Estado do Rio de Janeiro. Esses dados foram obtidos da ANATEL [7]. Certos dados oriundos da agência reguladora estão incompletos e inconsistentes, o que acarreta erros de cálculo na base. Torna-se necessária uma maior cooperação entre a agência reguladora com a base, para aumentar a confiabilidade das respostas às requisições dos USs.

2.1 Tecnologias Utilizadas

O sistema foi desenvolvido utilizando a linguagem de programação orientada a objetos Java, com o Sistema de Gerenciamento de Banco de Dados MYSQL para armazenamento dos dados. O protocolo utilizado para o desenvolvimento da Application Programming Interface (API) foi o REST, para isso, foi utilizada uma biblioteca Java chamada Restlet [8]. As respostas do sistema são no formato XML ou no formato JSON. O desenvolvimento da base foi realizado no ambiente Eclipse.

A aplicação Web utilizou HyperText Markup Language(HTML) para produção das páginas Web, em conjunto com a linguagem script Javascript para dinamização. Para customizar o layout da página, foi utilizado Cascading Style Sheets(CSS) como

linguagem de estilo. Para realização de requisições assíncronas ao servidor, utilizou-se o AJAX. Por fim, para renderização do mapa geográfico na página Web, foi utilizada a API em Javascript de mapas HERE [9].

2.2 Arquitetura do Servidor

Como citado na seção anterior, o servidor realiza a consulta ao banco de dados e obtém as informações dos UPs, em seguida aplica um dos modelos de propagação implementados e retorna uma lista com os canais livres baseada na posição geográfica do US.

ENTRAR COM MAIS INFORMAÇÕES DA BASE, ESTRUTURA DAS TABELAS E CLASSES

2.3 Cálculo dos Canais Disponíveis

O servidor consulta o banco de dados e coleta as informações das antenas presentes no Estado do Rio de Janeiro. A partir de sua altura e potência, calcula-se o alcance máximo para cada antena, dependendo do modelo de propagação do sinal. O alcance máximo é definido como: "A distância máxima da base da antena que um dispositivo pode estar para receber o sinal transmitido por ela com uma relação sinal/ruído mínima. Assume-se que o dispositivo não sofre nenhuma interferência além de duas vezes ruído de fundo". Os dispositivos que possuem uma distância menor que o raio da antena, receberão o sinal com qualidade suficiente. Já os dispositivos com distância da antena maior que seu raio, estarão fora do alcance da mesma, podendo utilizar esse canal para transmissão de seus dados. Essa condição é necessária para que um US possa transmitir dados nessa frequência sem causar interferências.

Assumindo um Usuário Primário P com alcance p e um Usuário Secundário S com alcance s . Sendo D a distância entre P e S. O US S poderá transmitir dados utilizando o canal de P somente se:

$$p + s > D \quad (2.1)$$

Os alcances p e s são obtidos através dos modelos de propagação implementados na base. Os modelos que foram implementados anteriormente são:

- Free Space
- Two Ray Ground
- Log Distance

Modelos de Propagação Implementados

Cada modelo retorna um valor de atenuação, no qual a relação sinal/ruído se torna igual a 10dB. Esse modelo é aplicado tanto para o UP quanto para o US, e com isso, encontra-se a distância máxima do alcance de um dispositivo. Para isso, é necessário encontrar a relação sinal/ruído, definida:

$$SINR = \frac{P}{I + N} \quad (2.2)$$

Onde P é a potência do sinal, I é a interferência e N é o ruído de fundo.

Como é assumido que a única interferência no ambiente será o ruído de fundo, tem-se então que:

$$SINR = \frac{P}{N} \quad (2.3)$$

O ruído de fundo, em Watts, é definido como:

$$Noise = kTB \quad (2.4)$$

Aonde k é a constante de Boltzman, T é a temperatura do ambiente e B é a banda em hertz.

Assim, pelas equações 2.3 e 2.4 tem-se que a potência mínima do receptor é:

$$P_r = SINR \cdot kTB \quad (2.5)$$

O valor da relação sinal/ruído deve ser convertido para W de forma a facilitar os cálculos. Dessa forma:

$$10 = 10\log_{10}(SINR_W) \quad (2.6)$$

De modo que a potência do sinal emitido pela antena em seu alcance máximo será:

$$P_a = 10kTB \quad (2.7)$$

No entanto, o dispositivo que utiliza o WS não pode interferir com os receptores

da antena. Dessa forma, seu sinal deve ser atenuado até atingir o valor do ruído de fundo. Assim sendo, a relação sinal/ruído deve ser de 0dB. De modo que podemos determinar a potência no alcance máximo do dispositivo como sendo:

$$P_d = kTB \quad (2.8)$$

Free Space

O modelo de propagação Free Space assume que o transmissor e o receptor possuem um caminho em linha reta, sem obstáculos próximos que possam causar os fenômenos de difração ou interferência. Esse modelo raramente é utilizado exclusivamente, normalmente faz parte de um modelo maior, como o Longley-Rice. Por desconsiderar as irregularidades do solo e assumir que o meio é sem obstrução, os alcances acabam sendo muito maiores do que a realidade. O modelo é ilustrado na figura abaixo.

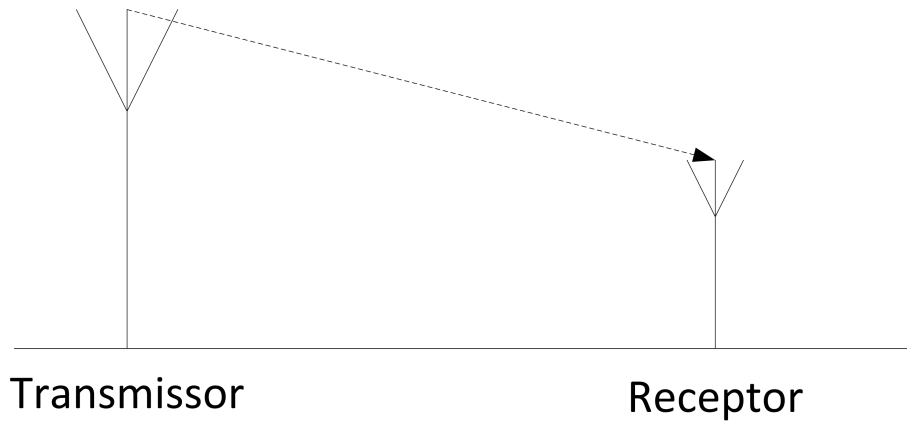


Figura 2.1: Modelo de propagação Free Space.

A potência recebida pelo receptor quando o transmissor se encontra a uma distância d é definida [10] como:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 d^2 L} \quad (2.9)$$

G_t e G_r são os ganhos do transmissor e receptor respectivamente. Foi assumido que a potência indicada pela ANATEL é, na verdade, $P_t G_t$, enquanto G_r foi desconsiderado.

$$G_r = 1 \quad (2.10)$$

L representa o fator de perda não relacionado ao modelo de propagação. L também foi desconsiderado.

$$L = 1 \quad (2.11)$$

λ é referente a frequência utilizada para transmissão, onde c é a velocidade da luz em m/s e f é a frequência utilizada em Hz.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.12)$$

Assim sendo, determina-se o alcance de uma antena no modelo de Free Space pelas equações 2.9 e 2.7:

$$d_1 = \sqrt{\frac{P_t \lambda^2}{10kTBL(4\pi)^2}} \quad (2.13)$$

De maneira análoga, o alcance de um US pode ser determinado pelas equações 2.9 e 2.8:

$$d_2 = \sqrt{\frac{P_t \lambda^2}{kTBL(4\pi)^2}} \quad (2.14)$$

Two Ray Ground

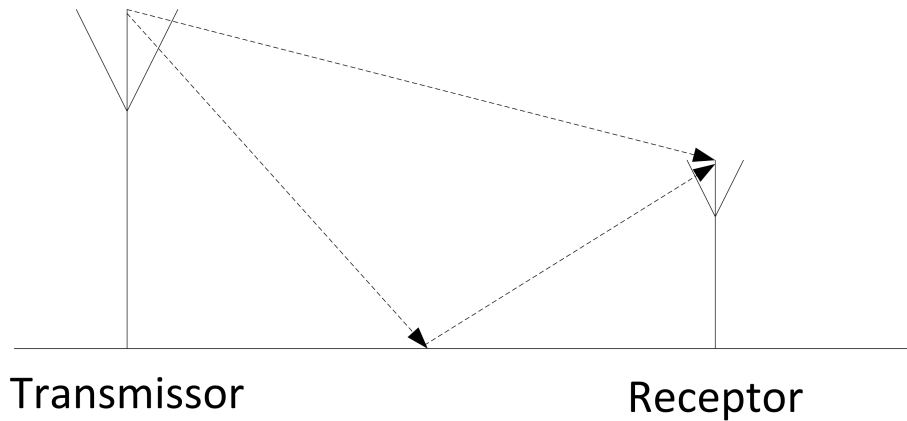


Figura 2.2: Modelo de propagação Two Ray Ground.

O modelo Two Ray Ground leva em consideração dois caminhos: O primeiro é equivalente ao Free Spaces, ou seja, um caminho direto do transmissor ao receptor

e o segundo é um caminho que incide no solo e é refletido para o receptor. Um exemplo é ilustrado na figura 2.2.

A potência recebida pelo receptor quando o transmissor se encontra a uma distância d é definida [10] como:

$$P_r(d) = P_t G_t G_r \frac{h_t^2 h_r^2}{d^4} \quad (2.15)$$

Onde h_t é a altura da antena transmissora e h_r é a altura da antena do receptor em metros. Foi assumida uma altura de 2 metros para casos onde não foi possível determinar a altura do dispositivo.

Assim, assumindo a equação 2.10, temos, pelas equações 2.15 e 2.7 o alcance de uma antena no modelo Two Ray Ground:

$$d_1 = \sqrt[4]{\frac{P_t h_t^2 h_r^2}{10kTB}} \quad (2.16)$$

De maneira análoga, o alcance de um US pode ser determinado pelas equações 2.9 e 2.8:

$$d_2 = \sqrt[4]{\frac{P_t h_t^2 h_r^2}{kTB}} \quad (2.17)$$

Log Distance

O modelo de propagação Log Distance é bastante utilizado para longas distâncias e assume que a potência transmitida por uma antena decai logarithmicamente em relação à distância. Dois fatores principais entram em cena, a perda ocorrida a uma distância muito pequena, e a taxa de decaimento.

L_0 determina a perda ocorrida a uma distância muito pequena. Foi considerado a distância d_0 como sendo 1 metro. Essa perda foi calculada no modelo Free Space:

$$L_0 = \left(\frac{4\pi w}{c} \right)^2 \quad (2.18)$$

Onde w é o comprimento de onda da frequência utilizada e c é a velocidade da luz em metros.

O modelo foi simplificado de forma que o alcance de uma antena é representado por:

$$d_1 = \sqrt[\gamma]{\frac{d_0^\gamma 10^{\frac{-L_0}{10}} P_t}{10kTB}} \quad (2.19)$$

De maneira análoga, o alcance de um US é representado por:

$$d_2 = \sqrt[\gamma]{\frac{d_0^\gamma 10^{\frac{-L_0}{10}} P_t}{kTB}} \quad (2.20)$$

γ representa um fator de perda que geralmente recebe valores de 2 a 6. Foi escolhido 3 como sendo valor padrão.

Constantes

As seguintes constantes foram assumidas para os cálculos descritos:

- $d = 1380 \cdot 10^{-23}$ mW
- $T = 290$ K
- $B = 6$ MHz
- $c = 299792458$ m/s

2.4 Extensão dos modelos

Os modelos implementados não levam em conta a perda causada pelo relevo, o que pode gerar resultados menos acurados, podendo causar interferências ou subutilização de canais no espectro. Um novo modelo de propagação foi desenvolvido nesse trabalho, levando em conta outras variáveis para determinar a atenuação do sinal de um dispositivo.

2.4.1 Longley-Rice

Também conhecido como Irregular Terrain Model (ITM), este modelo foi proposto para frequências entre 20 MHz a 20GHz, para alturas distintas de antenas transmissoras e receptoras. Dada a frequência, altura das antenas e uma estimativa da irregularidade do terreno, o modelo retorna um valor de referência para a atenuação do sinal. Foi bastante utilizado no auxílio de instalação de redes de telecomunicações, em especial os sistemas de televisão e ráiodifusão na alocação de canais de transmissão Very High Frequency(VHF) e Ultra High Frequency(UHF) .

Publicado em 1968 por Anita Longley e Phil Rice, esse modelo foi proposto para ser utilizado em um computador e foi criado de forma a abranger diversas combinações de frequências, distâncias, terrenos e climas para ambas polarizações - vertical e horizontal- de uma antena [11].

O Longley-Rice é capaz de prever a atenuação de dois modos diferentes: o modo área e o modo ponto-a-ponto. O modo área utiliza informações médias de um perfil do terreno para realizar o cálculo da atenuação. Já o modo ponto-a-ponto utiliza informações específicas do caminho entre o transmissor e o receptor para realização o cálculo da atenuação.

Parâmetros de Entrada

Para ambos os modos, os parâmetros listados abaixo são necessários:

- d Distância entre os dispositivos
- k Número de onda
- h_{g1}, h_{g2} Altura estrutural das antenas
- Δh Parâmetro de irregularidade do terreno
- N_s Refratividade da Superfície
- γ_e Curvatura efetiva da terra
- Z_g Impedância da superfície
- clima Expresso qualitativamente com um número para denotar um tipo de clima discreto

Para obtermos o número de onda, basta aplicarmos a fórmula:

$$k = 2\pi/\lambda = f/f_0 \quad \text{sendo} \quad f_0 = 47.70 \text{ MHz} \cdot \text{m}$$

O parâmetro de irregularidade do terreno pode ser obtido na tabela 2.1.

Tabela 2.1: Tabela obtida no relatório de Longley, Rice e Kissick [12]

	Δh (metros)
Plano ou sobre a água	0
Planícies	30
Colinas	90
Serras	200
Montanhas	500

O valor do parâmetro de irregularidade varia em função da distância, seguindo a equação abaixo:

$$\Delta h(s) = (1 - 0.8e^{-s/D})\Delta h \quad \text{com } D = 50 \text{ km e } s \text{ a distância}$$

No artigo original do modelo [11], um programa foi apresentado e as previsões da atenuação do sinal foram testadas para um certo intervalo de valores de entrada, onde o modelo provou-se eficiente. Os parâmetros e seus respectivos intervalos estão listados na tabela 2.2:

Tabela 2.2: Intervalos válidos para os parâmetros de entrada.

Parâmetros	Intervalo
Frequência	20 a 40,000 MHz
Altura das Antenas	0.5 a 3,000 m
Distância	1 a 2,000 km
Refratividade da Superfície	250 a 400 N-unidades

A polarização da antena pode ser horizontal ou vertical e afeta o valor da impedância da superfície Z_g , ibtida pela análise da permissividade e condutividade do solo em relação à polarização das ondas. A impedância característica do solo em relação a sua polarização é apresentada a seguir:

$$Z_g = \begin{cases} \sqrt{\epsilon'_r - 1} & \text{Polarização horizontal} \\ \frac{\sqrt{\epsilon'_r - 1}}{\epsilon'_r} & \text{Polarização vertical} \end{cases}$$

onde ϵ'_r é a Permissividade relativa complexa, definida por:

$$\epsilon'_r = \epsilon_r + iZ_0\sigma/k$$

$$Z_0 = 376.62 \text{ ohm.}$$

A condutividade do solo σ é expressa em siemens por metro. Seus possíveis valores podem são apresentados na tabela 2.3

Tabela 2.3: Valores para a permissividade relativa e condutividade do solo.

	Permissividade Relativa	Condutividade (Siemens por metro)
Solo médio	15	0.005
Solo pobre	4	0.001
Solo bom	25	0.020
Água fresca	81	0.010
Água do mar	81	5.0

A curvatura efetiva da terra γ_e pode ser obtida através da fórmula:

$$\gamma_e = \gamma_a / K$$

Onde γ_a é a curvatura real da terra e K é o fator de raio efetivo da Terra. O valor normalmente é obtido através de sua fórmula empírica:

$$\gamma_e = \gamma_a (1 - 0.04665 e^{N_s/N_1})$$

onde

$$N_1 = 179.3 \text{ N-unidades, e } \gamma_a = 157.10^{-9} \text{ m}^{-1} = 157 \text{ N-unidades/km.}$$

A refratividade da superfície N_s é obtida a partir da análise das condições atmosféricas, como a temperatura, pressão e umidade relativa. Esse valor determina quantidade de sinal que é refratado pela atmosfera. Para simplificar a sua representação, a refratividade da superfície é definida em termos de N_0 , a refratividade da superfície reduzida ao nível do mar.

$$N_s = N_0 e^{-z_s/z_1} \quad \text{sendo} \quad z_1 = 9.46 \text{ km}$$

Onde z_s é a elevação geral da região envolvida. Para o modo ponto-a-ponto, esse valor é a média aritmética das elevações no caminho entre o transmissor e o receptor. Ao reduzirmos a refratividade da superfície ao nível do mar, podemos utilizar o mapa presente no relatório [12] para obter um valor válido para N_s . Os valores são apresentados na figura. 2.3 Esses dados podem ser resumidos em função do clima da região em estudo, listados na tabela 2.4.

Tabela 2.4: Refratividade da superfície em função do clima da região.

Clima	Refratividade da superfície (N-unidades)
Deserto	280
Continental Temperado	301
Continental Sub-tropical	320
Marítimo Temperado	320
Marítimo temperado sobre o mar	350
Equatorial	360
Marítimo Sub-tropical	370

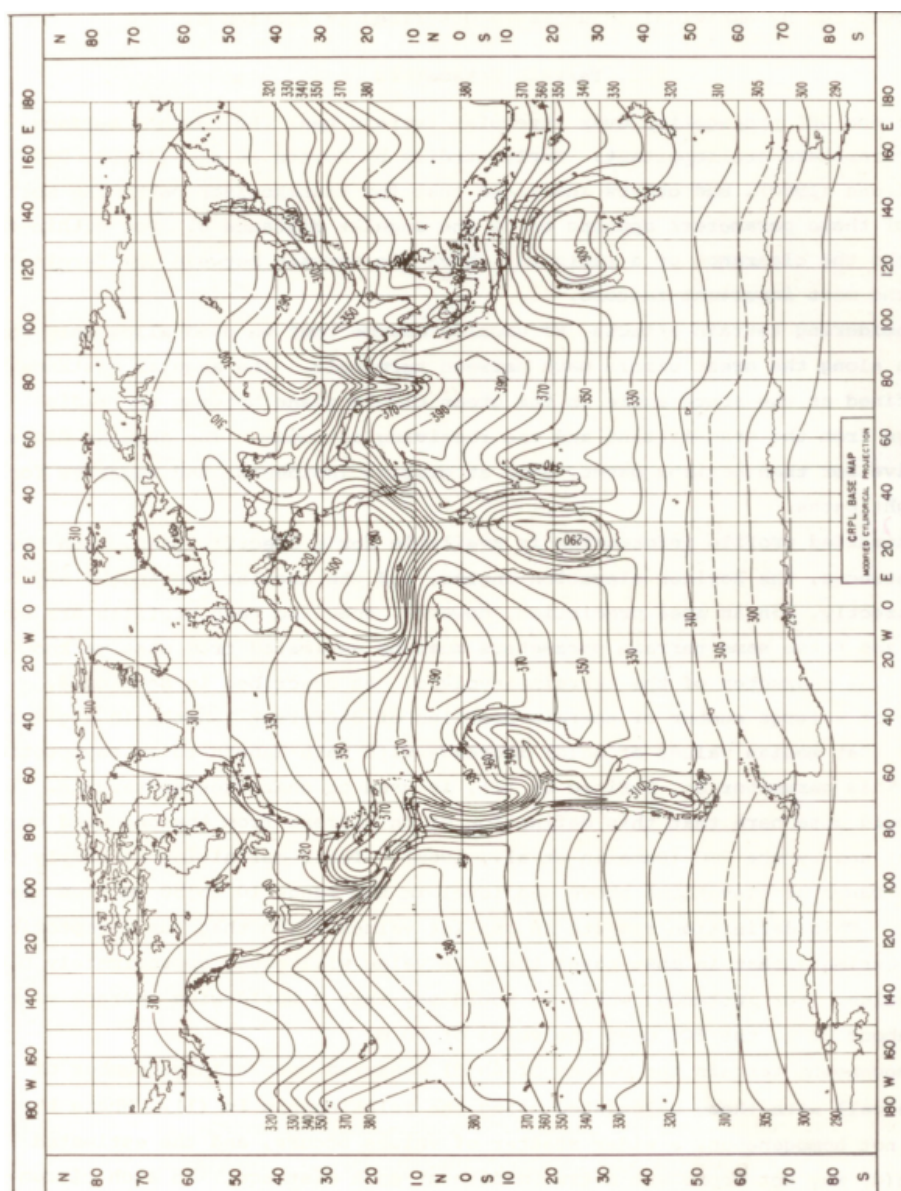


Figura 2.3: Refratividade média da superfície reduzida ao nível do mar.

Parâmetros adicionais para o modo ponto-a-ponto

Cada modo depende de diferentes parâmetros de entrada. No modo ponto-a-ponto, informações detalhadas do terreno para o caminho entre o transmissor e receptor estão disponíveis, as variáveis adicionais de entrada utilizadas pelo algoritmo nesse modo são:

- h_{e1}, h_{e2} Alturas efetivas das antenas
- d_{L1}, d_{L2} Distância de cada dispositivo ao seu horizonte
- θ_{e1}, θ_{e2} Ângulos de elevação dos horizontes de cada dispositivo na altura das antenas

No modo área, esses valores são aproximados utilizando uma fórmula empírica na qual Δh influencia fortemente, pois não há informações específicas do caminho a ser percorrido pelas ondas.

A altura efetiva de uma antena é a altura acima de um plano refletor, os valores podem ser encontrados na figura 2.4 [11],

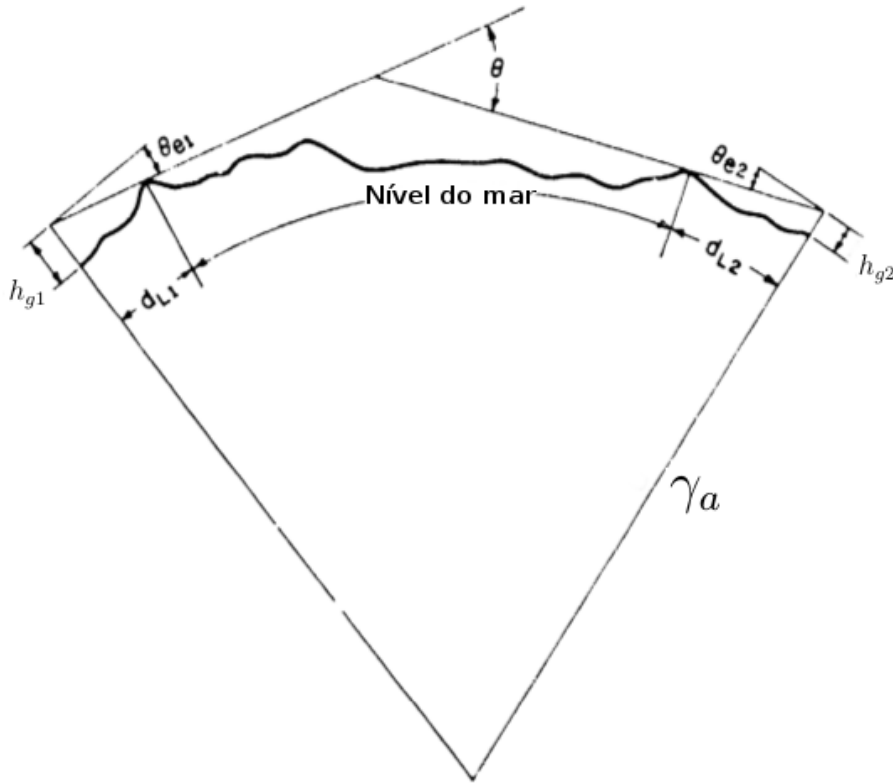


Figura 2.4: Geometria de um caminho transhorizonte.

O ângulo θ é obtido da seguinte forma:

$$\theta = \max(\theta_{e1} + \theta_{e2}, -d_L \gamma_e)$$

onde

$$d_L = d_{L1} + d_{L2}$$

Parâmetros adicionais para o modo área

O modo área realiza a predição com menos informações sobre o terreno. Portanto, apenas um parâmetro é levado em consideração: o critério de localização do receptor, que pode assumir apenas três valores: Aleatório, com cautela ou com muita cautela.

Os parâmetros h_{ei} , d_{Li} , θ_{ei} , $j = 1, 2$ não são parâmetros de entrada nesse modo, porque nem sempre as informações específicas do terreno estão disponíveis. No modo área, eles são calculados empiricamente e o critério de localização é utilizado para determinar a altura efetiva da seguinte forma:

$$h_{ei} = h_{gi} \quad \text{Se o dispositivo está localizado aleatoriamente}$$

Se não, assuma que

$$B_i = \begin{cases} 5 \text{ m} & \text{Se o dispositivo está localizado com cautela} \\ 10 \text{ m} & \text{Se o dispositivo está localizado com grande cautela} \end{cases}$$

e

$$B'_i = (B_i - H_1) \sin\left(\frac{\pi}{2} \min(h_{g1}/H_2, 1)\right) + H_1, \text{ sendo } H_1 = 1 \text{ m}, H_2 = 5 \text{ m},$$

com isso, a altura efetiva é calculada a partir da seguinte equação

$$h_{ei} = h_{gi} + B'_j e^{-2h_{gi}/\Delta h}$$

Em seguida, utilizamos os valores das alturas para determinar d_{Lsi} , $i = 1, 2$, que são as distâncias do horizonte assumindo a Terra como perfeitamente esférica:

$$d_{Lsi} = \sqrt{2h_{ei}/\gamma_e}$$

Com isso, as distâncias do horizonte são obtidas

$$d_{Lj} = d_{Lsj} e^{-0.07 \sqrt{\Delta h / \max(h_{ei}, H_3)}} \quad \text{com } H_3 = 5 \text{ m}$$

Por fim, os ângulos efetivos θ_{ei} , $i = 1, 2$ são calculados através da fórmula:

$$\theta_{ei} = \frac{0.65 \Delta h (d_{Lsi}/d_{Li} - 1)}{d_{Lsi}}$$

Retorno do algoritmo

Os parâmetros citados anteriormente são utilizados para computar a perda da transmissão. O resultado é um valor de atenuação calculado através do somatório de duas atenuações: A primeira é utilizando o Free-Spaces citado anteriormente enquanto a segunda é uma atenuação de referência, que pode ser calculada de diferentes maneiras, dependendo da distância entre os dispositivos.

Sejam A_{lr} , A_{fs} , A_{ref} as atenuações do Longley-Rice, Free Spaces e de referência, respectivamente, o valor da atenuação retornada pelo modelo é:

$$A_{lr} = A_{fs} + A_{ref}$$

Para calcular a atenuação (em dB) do Free Spaces, utiliza-se uma fórmula diferente da equação 2.9:

$$A_{fs} = 32.45 + 20 \log_{10} f + 20 \log_{10} d$$

Com a frequência f em MHz e a distância d em metros.

Atenuação de Referência A_{ref}

A atenuação de referência é calculada usando métodos baseados em diferentes modelos de propagação, para três intervalos de distâncias distintas. Na região onde a superfície da terra não interrompe a propagação do sinal, chamada de linha de visada (Line of Sight), o modelo utilizado é o Two Ray, somado ao Free Spaces mencionado anteriormente.

Na região entre d_{L1} e d_{L2} , o modelo que prevalece é o de difração[13]. Nele, são utilizadas dois modelos para calcular a atenuação: A atenuação de goma dupla de faca e atenuação desenvolvida por Vogler para uma região de difração distante, assumindo a terra perfeitamente esférica [14].

Quando a distância entre os dispositivos ou θ é muito grande, calcula-se a atenuação na região de dispersão.

A demonstração das diferentes fórmulas de cálculo da atenuação de referência A_{ref} não serão apresentadas nesse trabalho, mas foram implementadas na base. As equações podem ser encontradas no artigo original [11] ou no artigo de Hufford [13].

Referências Bibliográficas

- [1] CISCO. “Cisco Visual Networking Index: Forecast and Methodology, 2013–2018”. . http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/collateral/service-provider/ip-ngn-ip-next-generation-network/white_paper_c11-481360.html, jun. 2014.
- [2] INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS (IEEE). *Functional Requirements for IEEE 802.22 WRAN Standard, 802.22/05-0007r46*. Relatório técnico, set. 2005.
- [3] INTERNET ENGINEERING TASK FORCE (IETF). “Protocol to Access White-Space (PAWS) Databases: Use Cases and Requirements”. . <http://www.ietf.org/rfc/rfc6953.txt>, may 2013.
- [4] GOOGLE. “Spectrum Database”. . <https://www.google.com/get/spectrumdatabase/channel/>. Acessado em fevereiro de 2014.
- [5] MARCELO ROCHA MACHADO. *Banco de Dados de Disponibilidade de Espectro para Radios Cognitivos*. Relatório técnico, Apr. 2013.
- [6] FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION (FCC). “FCC ONLINE TABLE OF FREQUENCY ALLOCATIONS”. . <http://transition.fcc.gov/oet/spectrum/table/fcc-table.pdf>. Acessado em fevereiro de 2013.
- [7] ANATEL. “Consulta de Canais”. . <http://sistemas.anatel.gov.br/siscom/consplanobasico/default.asp?SISQSmodulo=2605>. Acessado em Fevereiro de 2014.
- [8] “Restlet”. . <http://restlet.org/>. Acessado em fevereiro de 2013.
- [9] HERE. “Javascript API”. . <https://developer.here.com/javascript-apis>. Acessado em Fevereiro de 2014.
- [10] RAPPAPORT, T. S. *Wireless Communications: Principles and Practice*. 2 ed. , Prentice Hall, 2001. ISBN: 9780130422323.

- [11] A. G. LONGLEY, P. L. RICE. *Prediction of tropospheric radio transmission loss over irregular terrain. A computer method-1968*. Relatório técnico, jul. 1968. Acessado em Fevereiro de 2015.
- [12] HUFFORD, G., LONGLEY, A., KISSICK, W. *A Guide to the Use of the ITS Irregular Terrain Model in the Area Prediction Mode*. Relatório técnico, abr. 1982.
- [13] G. A. RUFFORD. “The ITS Irregular Terrain Model, version 1.2.2, the Algorithm”. , 1995. Acessado em Fevereiro de 2015.
- [14] VOGLER, L. E. *Calculation of Groundwave Attenuation in the Far Diffraction Region*. Relatório técnico, jan. 1964.