



Inatel - Brasil

***Centro de
Referência em
Radiocomunicações***

**Cenários, Requisitos e
Convivência com TV
*Whites Spaces***

RT NOR 17.002 V1

[RT NOR 17.002 V1]

Inatel

Instituto Nacional de Telecomunicações

RT NOR 17.002 V1

| | |
|--------------------|--|
| Título: | Cenários, Requisitos e Convivência com TV <i>Whites Spaces</i> |
| Autor (es): | Samuel de Souza Lima Moreira Rômulo Mota Volpato |

| | |
|-------------------|------------------------|
| Data: | 30/12/2017 |
| Categoria: | Interno |
| Tipo: | Relatório Técnico – RT |
| Área: | Normalização |
| Documento: | 17.002 |
| Versão: | 1 |
| Situação: | Em elaboração |
| Arquivo: | RT_CRR_17_002_V1.docx |

Histórico de atualizações

| Versão | Data | Autor (es) | Notas |
|---------------|-------------|---|--------------|
| 1 | 30/12/2017 | Samuel de Souza Lima Moreira Rômulo Mota Volpato | |

Lista de Siglas e Abreviações

| | |
|---------------------|---|
| Áreas: | |
| CRR | Centro de Referência em Radiocomunicações. |
| INATEL | Instituto Nacional de Telecomunicações |
| Abreviações: | |
| ACP | <i>Adjacent Channel Power</i> |
| BDWS | <i>Base de Dados White Space</i> |
| BER | <i>Bit error rate</i> |
| CSMA | <i>Carrier Sense Multiple Access</i> |
| CS | <i>Carrier Sensing</i> |
| DVB-T | <i>Digital Video Broadcasting - Terrestrial</i> |
| DE | Dispositivo Escravo (Modo I) |
| DM | Dispositivo Mestre (Modo II) |
| DWS | Dispositivo <i>White Space</i> |
| DSA | <i>Dynamic Spectrum Alliance</i> |
| EIRP | <i>Effective (or Equivalent) Isotropic Radiated Power</i> |
| FCC | <i>Federal Communications Commission</i> |
| ISM | <i>Industrial Scientific and Medical</i> |
| IEEE | <i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i> |
| ISDB-T | <i>Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial</i> |
| ITU | <i>International Telecommunication Union</i> |
| IETF | <i>Internet Engineering Task Force</i> |
| LTE | <i>Long Term Evolution</i> |
| OFDMA | <i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i> |
| OFDM | <i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i> |
| PC | Prefixo cíclico |
| PAWS | <i>Protocol to Access White Space Database</i> |
| RF | <i>Radiofrequência</i> |
| RC | Rádios cognitivos |
| RP | Relação de Proteção |
| TVD | Televisão Digital |
| TOV | <i>Threshold of Visibility</i> |
| TDMA | <i>Time Division Multiple Access</i> |
| TVWS | <i>TV White Spaces</i> |
| UHF | <i>Ultra-High Frequency</i> |
| USB | <i>Universal Serial Bus</i> |
| UP | Usuário Primário |
| US | Usuário Secundário |
| VHF | <i>Very-High Frequency</i> |
| WS | <i>White Space</i> |
| WLAN | <i>Wireless Local Area Network</i> |
| WPAN | <i>Wireless Personal Area Network</i> |

Definições

- I. *TV White Spaces*: O termo *TV White Spaces* (TVWS) refere-se a canais vagos do serviço de radiodifusão de TV em uma dada localidade, que foram liberados com o desligamento dos sistemas de TV analógica.
- II. *Usuários Primários*: Dispositivos de transmissão da entidade detentora da licença são chamados de *Usuários Primários* (UP).
- III. *Usuários Secundários*: Dispositivos não licenciados que através dos DWS fazem uso - oportunista do espectro eletromagnético são denominados *Usuários Secundários* (US).
- IV. *Canais não ocupados/ canais livres*: Uma faixa de frequências que não está sendo utilizada por um usuário primário em uma determinada localidade e que está autorizada pela agência reguladora a ser utilizada por um dispositivo *White Space*.
- V. *Dispositivo White Space* (DWS): Um rádio transmissor implementado com funções cognitivas, que atua em caráter secundário em canais não ocupados sem causar interferências nos serviços primários.
- VI. *Limiar de Saturação do Receptor* (*Receiver front-end overload threshold - O_{th}*): É a potência, expressa em dBm, a partir da qual ocorre a saturação do receptor de TV, onde este perde a capacidade de discriminar o sinal interferente do sinal desejado.
- VII. *ACLR* (*Adjacent Channel Leakage Ratio*): é uma medida de desempenho de um transmissor relacionada à capacidade de supressão de energia no canal adjacente. O ACLR é definido como a razão, em dB, da potência média do sinal gerado integrada na sua faixa designada, para a potência média de emissões no canal adjacente.
- VIII. *Sintonizadores tipo "Can tuners"*: São os receptores de TVD que possuem sintonizadores super-heteródinos tradicionais, formados por componentes discretos dentro de um encapsulamento de metal para minimizar as interferências externas.
- IX. *Sintonizadores tipo "Silicon tuners"*: São os receptores de televisão digital que possuem sintonizadores baseados em circuitos integrados, conectados a uma placa principal. Esses circuitos integrados podem ter uma cobertura metálica para proteção contra interferências.
- X. *Interferências*: Neste relatório o termo deve ser interpretado como aquela que degrada, obstrui ou interrompe um serviço de radiocomunicação. Adotou-se o termo como sendo o ponto onde a imagem do receptor em teste congela ou trava, independente da acuidade visual do observador.

Lista de Tabelas

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Sumário dos requisitos necessários, de acordo com a FCC. | 14 |
| Tabela 2: Requisito para camada física [15] | 17 |
| Tabela 3: Requisitos para camada de enlace [15] | 17 |
| Tabela 4: Requisitos para camada Cognitiva [15] | 18 |
| Tabela 5: Requisitos para os cenários de aplicações para comunicações em TVWS [13][15] | 18 |
| Tabela 6: Limites para emissões fora da faixa, em DWS fixos []..... | 20 |
| Tabela 7: Limites para emissões fora da faixa, em DWS pessoais/Portáteis [] | 20 |
| Tabela 8: Exemplo de caracterização de sinal de TV usado para ensaio de testes de convivência .. | 22 |
| Tabela 9: Características do equipamento <i>RuralConnect</i> | 26 |

Lista de Figuras:

| | |
|--|----|
| Figura 1: Densidade de pontos de acesso à internet no Brasil por 100 domicílios..... | 7 |
| Figura 2: Separação de canais ISDB-T segundo ARIB STD-B31 [23]..... | 19 |
| Figura 3: Arranjo de medidas proposto para realização..... | 21 |
| Figura 4: Exemplo de tela de configuração de sinal ISDB-T 64QAM | 22 |
| Figura 5: Exemplo de caracterização de sinal ISDB-T 64QAM, medido analisador digital de sinais. | 23 |
| Figura 6: Exemplo de separação entre canais UHF para teste em canal adjacente..... | 24 |
| Figura 7: Conjunto de equipamentos <i>RuralConnect</i> , da <i>Carlson</i> : Estação base (Preto) e terminal de cliente (Azul) | 26 |
| Figura 8: Tela inicial de configuração do DWS <i>RuralConnect</i> , da <i>Carlson Wireless</i> | 27 |
| Figura 9: Tela de registro de DWS, com latitude, longitude e altura da antena | 27 |
| Figura 10: Seleção do provedor da BDWS | 28 |
| Figura 11: Base de dados White Space que estava prevista de operar no Brasil | 28 |
| Figura 12: Arranjo montado para teste de convivência em bancada..... | 29 |
| Figura 13: Montagem do sistema com Radio White Space, na bancada do laboratório do Centro de Referência em Radiocomunicações..... | 30 |
| Figura 14: Transmissão com o rádio <i>Carlson</i> , no canal 33 UHF..... | 30 |

SUMÁRIO

| | |
|---|----|
| 1. Introdução..... | 7 |
| 2. Cenários de aplicação | 9 |
| 3. Dispositivos <i>White Space</i> | 11 |
| 4. Requisitos necessários para operação nos <i>White Spaces</i> | 12 |
| 5. Protocolos compatíveis com os <i>White Spaces</i> | 15 |
| 6. Propostas de ensaio de convivência com sistemas ISDB-T: Interferência de canal adjacente | 19 |
| 7. Teste com Equipamento <i>Carlson RuralConnect</i> | 25 |
| 8. Considerações finais: | 33 |
| 9. Referências Bibliográficas..... | 34 |
| 10. Anexo 1: Frequência dos canais de TV no Brasil | 37 |

1. Introdução

Uma das formas mais eficientes de democratizar o acesso à informação é através da internet. A União Internacional de Telecomunicações (ITU, na sigla em inglês) estimou que, ao final de 2016, 53% da população mundial não teria acesso à Internet. Apesar dos esforços governamentais e empresariais em expandir seus serviços e número de clientes, o crescimento da população mundial supera o aumento dos pontos de conexão [1]. No Brasil, segundo a Anatel, existem aproximadamente 27 milhões de pontos de acessos banda larga. Este número equivale somente 40% dos domicílios. Nas regiões Norte e Nordeste, esse percentual é mais crítico, com apenas 16,96% e 24,42% das habitações respectivamente, conectadas por banda larga fixa [3]. Essa situação pode ser vista na figura 1, onde a densidade da distribuição dos pontos de acesso no Brasil, de acordo com os dados da agência reguladora, é apresentada.

O aumento do número de conexões nessas áreas, dada a grande extensão territorial do país, está atrelado aos desafios técnicos e econômicos impostos à expansão do *backhaul* óptico. As condições adversas da região Norte, como baixa densidade populacional, grandes distâncias entre localidades, condições climáticas, entre outras, dificultam a implantação de redes terrestres[2].

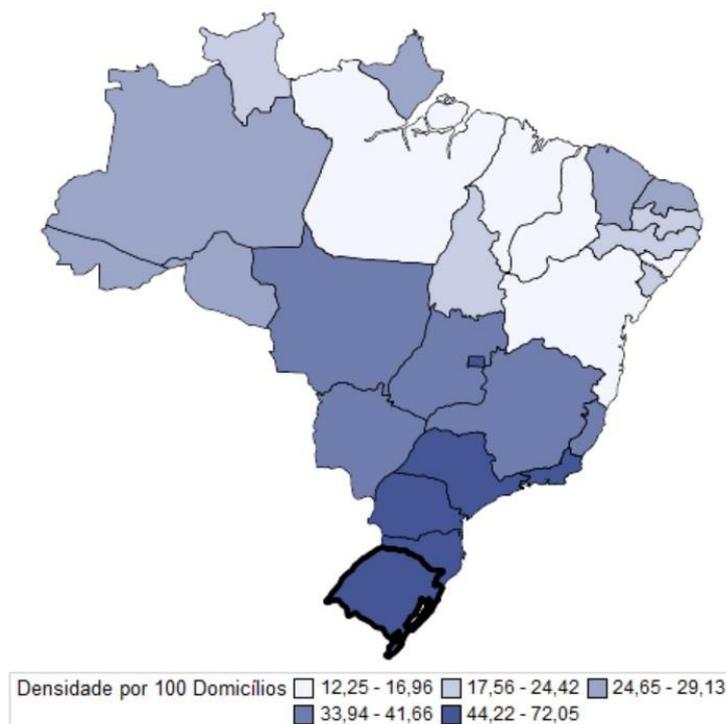


Figura 1: Densidade de pontos de acesso à internet no Brasil por 100 domicílios.

Por outro lado, nos próximos anos, haverá mais de 10 bilhões de dispositivos conectados em todo o mundo, gerando cinco exabytes de dados móveis por mês, e mais de três exabytes de *streaming* de vídeo, de acordo com a Cisco [4]. Transformar estas estimativas em oportunidades de negócios reais para as operadoras de telecomunicações exige abordar os seguintes problemas cruciais: como resolver os desafios de prover acesso banda larga para as regiões que não possuem cobertura adequada e como atender à crescente demanda de tráfego em um mundo onde os recursos de frequência são limitados.

Embora a maior parte do espectro eletromagnético já tenha sido licenciada pela agência reguladora, várias campanhas de medições realizadas em todo o mundo mostraram que as taxas de ocupação do espectro eletromagnético estão entre 5% e 15% [4]. Com o processo de

desligamento da radiodifusão de TV analógica, uma parte significativa do espectro eletromagnético na faixa de VHF (*Very High Frequency*) e UHF (*Ultra High Frequency*) está sendo desocupada [8][9]. Partes do espectro que antes estavam reservadas para usuários primários, agora estão disponíveis para usuários secundários. Estes espaços não ocupados são denominados na literatura de TV *White Spaces* (TVWS) [11][12].

Neste cenário o emprego de rádios cognitivos, operando nos *White Spaces* (WSs) é uma solução para atender as necessidades observadas, ao permitir que usuários secundários estabeleçam comunicação utilizando faixas não licenciadas, otimizando os recursos de espectro [10]. Entretanto é preciso garantir que os usuários secundários, não causem interferências nos sistemas primários que já estão em operação.

Este relatório tem por objetivo apresentar um resumo dos possíveis cenários de aplicação e introduz os requisitos mínimos necessários para operação nos WSs. Ao final um método de ensaio é proposto afim de avaliar a coexistência com canais de TV digital, no padrão ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*), e levantar possíveis situações críticas. Através da avaliação de métricas de desempenho, deseja-se abrir o caminho para a coexistência entre sistemas operando nos *White Spaces*, com serviços primários de Televisão Digital (TVD).

Os demais capítulos deste documento estão organizados da seguinte forma: O **Capítulo 2** apresenta alguns dos possíveis cenários para utilização dos TVWS. Os tipos de dispositivos *White Space* são apresentados no **Capítulo 3**. O **Capítulo 4** introduz os requisitos necessários para operação em canais não ocupados. No **Capítulo 5** são os principais protocolos IEEE que estão sendo discutidos para comunicação nos WS são descritos. No **Capítulo 6** um método para ensaio de convivência com sistemas ISDB-T é proposto. Um teste com um equipamento WS comercial é apresentado no **Capítulo 7**. Por fim, as considerações finais são feitas no **Capítulo 8**.

2. Cenários de aplicação

Este capítulo descreve alguns cenários de aplicação de sistemas *White Spaces* operando em canais vagos na faixa de TV.

2.1. Acesso à banda larga em área rural

O acesso à banda larga para zona rural é um modelo de utilização com grande apelo para aplicação dos sistemas de comunicação utilizando os TVWS, uma vez que este propõe prover acesso à internet para locais onde este tipo de serviço ou é muito caro, ou ainda não está disponível. Este cenário pretende usar WSs tanto prover acesso à Internet para o usuário final quanto conectar-se ao *backhaul de redes já existentes*. Redes sem fio operando nas faixas de 2,4 GHz e 5 GHz tornam-se inviáveis quando se avaliam os custos com infraestrutura, instalação e manutenção [13]. Devido à pequena área de cobertura que os dispositivos nessa faixa de frequência oferecem, a quantidade de dispositivos necessários desmotiva a implantação de redes operando nessas faixas de frequência [13]. A utilização de frequências mais baixas permite que os provedores em áreas rurais tenham a possibilidade de estender o alcance dos enlaces, utilizando menos pontos de acesso tanto para terminais fixos quanto para móveis.

2.2. Internet das coisas

Este modelo de aplicação tem como alvo, sensores, medidores e dispositivos eletrônicos inteligentes. Redes de utilidade pública, como eletricidade, gás e água estão atualmente migrando para as tecnologias sem fio. Os medidores inteligentes que compõem estas redes são dispositivos simples alimentados por bateria, que realizam o monitoramento de dados dos usuários finais e se comunicam através de pontos de acesso ou coordenadores de rede dentro de um raio de várias dezenas de metros a alguns quilômetros. A taxa de dados necessária é relativamente baixa devido à natureza dos dados trocados. Com a adesão do uso não-licenciado do espectro eletromagnético, é esperada uma expansão da largura de faixa para utilização das redes de utilitários inteligentes [4][13].

2.3. Redes industriais, municipais e *smart campus*

Redes industriais, municipais e *smart campus* podem ser expandidas tanto em largura de banda quanto em alcance com a utilização dos canais livres na faixa de TV. Enquanto cidades e universidades podem se prover acesso à Internet, redes industriais adquirem a possibilidade de exercer funcionalidades como controle predial, segurança e automação remota de processos industriais.

As características favoráveis dessa faixa de frequência e penetração de sinais da faixa de TV devem fornecer o melhor desempenho com menos pontos de acesso, reduzindo custo de infraestrutura quando comparadas às congestionadas industrial, científica e a médica (ISM— *Industrial Scientific and Medical*) [13].

2.4. Indoor White Space

Redes sem fio recentemente estão passando por um processo de transição, onde os clientes demandam múltiplos fluxos simultâneos de dados dentro de um mesmo ambiente. O surgimento

de serviços como, por exemplo, de *streaming* de vídeo, compartilhamento de dados na nuvem e jogos eletrônicos elevam ainda mais a necessidade de aumentar a largura de banda.

Segundo os estudos realizados em **Error! Reference source not found.**, a disponibilidade do espectro eletromagnético é diferente entre ambientes externos (*outdoor*) e internos (*indoor*), podendo haver divergências entre andares e até entre cômodos. Portanto, muitas frequências marcadas como indisponíveis por um banco de dados poderiam ser potencialmente exploradas usando dispositivos de baixa potência operando nos canais livres. O uso dos dispositivos *White Spaces* em ambientes internos pode ser uma solução elegante para descarregar faixas de 2,4 GHz atendendo aplicações alta densidade e que utilizam os canais do espectro eletromagnético de forma intensiva [13].

2.5. Segurança Pública

A maioria das redes de segurança pública sem fio, como polícia e o corpo de bombeiros, atualmente tem suporte somente para voz e, em alguns países, transferências de pequenos pacotes de dados que requerem apenas algumas dezenas de *kilo* bits por segundo. Implantações em situações críticas, emergências médicas, catástrofes naturais e gerenciamento de desastres são alguns exemplos que exigem uma rede de segurança pública com maior confiabilidade. O longo alcance e a capacidade de penetração sem visada direta dos sinais nessa faixa de frequência são atrativos para este cenário [13].

2.6. Banda larga no transporte

Segundo a Confederação Nacional da Indústria, aproximadamente um em cada quatro brasileiros utilizam o transporte público como principal fonte de locomoção. A crescente demanda por acesso à comunicação tem se tornando mais acentuada nos transportes públicos municipais e de longa distância, como ônibus interestaduais e trens, para prover entretenimento multimídia e acesso à Internet. A utilização dos WS pode proporcionar uma área de cobertura maior quando comparado às topologias celulares atuais [13].

3. Dispositivos *White Space*

3.1. Classificação dos *Dispositivos White Space*

Segundo as agências reguladoras internacionais, existem duas classes de Dispositivos *White Space*: dispositivos fixos e pessoais/portáteis. Os dispositivos fixos operam com potência a partir de um local estático montados com uma antena externa. Os dispositivos pessoais/portáteis não possuem um local definido de operação e podem assumir diversas formas como por exemplo pontos de acesso WLAN, placas de computadores para acesso à rede, sensores remotos entre outros [11].

Estes rádios transmissores ainda são subdivididos em modos I, II e Sensores de espectro. Um rádio do modo I é um equipamento pessoal/portátil controlado por um dispositivo fixo ou por um pessoal/portátil em modo II. Os DWS do modo II são aparatos móveis independentes com a habilidade de acessar uma base de dados *White Space* (BDWS) **Error! Reference source not found.** Os rádios sensores de espectro são equipamentos pessoais/portáteis que operam em baixa potência e precisam realizar o sensoriamento espectral antes de iniciar a transmissão.

3.2. Potência de Transmissão

De acordo com um FCC, os dispositivos fixos são permitidos transmitir até 4w referente a antena isotrópica (EIRP), com 1W de potência de RF na saída do rádio transmissor e uma antena externa com ganho de 6 dBi, por canal de operação [11].

Os dispositivos pessoais/portáteis são autorizados a transmitir até 100 mW equivalente EIRP, considerando o ganho da antena. Quando estiverem em operação um canal adjacente a um usuário primário a potência de transmissão permitida é limitada a 50 mW. Além da restrição de potência em canal adjacente, há também uma restrição de densidade espectral de 12,6 dBm e 2,6 dBm por 100 kHz para dispositivos fixos e pessoais/portáteis [11].

Os dispositivos pessoais/portáteis que somente operam com sensoriamento espectral podem somente transmitir até 50 mW [11].

3.3. Frequências de operação:

No Brasil a faixa de frequências destinada a TV consiste em canais com 6MHz designados de 2 a 51. Este conjunto de canais é separado em quatro bandas nas regiões VHF e UHF do espectro eletromagnético, sendo respectivamente, 54-72MHz, 76-88 MHz, 174-216 MHz e 470 698 MHz. O anexo 1 apresenta as canalizações das frequências VHF e UHF no país.

4. Requisitos necessários para operação nos *White Spaces*

Para realizar o gerenciamento do espectro, as agências reguladoras de cada país utilizam a política de alocação fixa de banda, na qual o recurso é dividido por tipo de serviço e os usuários adquirem o direito exclusivo de explorar determinada banda (Usuários Primários). Estudos mostram que esse tipo de política de gerenciamento causam a subutilização do recurso, visto que o detentor do direito de utilizar determinada banda não o faz sempre e em toda área prevista para a cobertura do serviço [18]. Portanto, tem-se um cenário contraditório em que o recurso é ao mesmo tempo escasso e subutilizado, gerando um grande desafio para as futuras tecnologias de comunicações sem fio.

A fim de que a operação nos WS seja viável, uma nova política de alocação dinâmica de banda precisa ser adotada, admitindo-se que um usuário não licenciado (US), utilize uma faixa licenciada. Neste modelo, as transmissões de um US, podem ser feitas tanto de forma simultânea às do UP, desde que não causem interferências prejudiciais, quanto de forma não sobreposta, aproveitando oportunidades de transmissão, que consistem em identificar faixas ociosas (WS). Neste contexto surgiram os rádios cognitivos (RCs), dispositivos inteligentes que, por meio do sensoriamento espectral, identificam os WS [18].

No contexto dos sistemas DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*), os sistemas baseados em rádios cognitivos estão sendo intensivamente pesquisados como o conjunto de tecnologias que irão possibilitar o acesso secundário aos TVWS, permitindo a reutilização dinâmica do espectro de rádio. Este capítulo descreve os principais mecanismos para o acesso oportunista aos TVWS.

4.1. Sinalização por *Beacons*.

Os *Beacons* são sinais de rádio, ultrassônicos, ópticos ou laser de que indicam a proximidade ou localização de um dispositivo ou sua prontidão para realizar uma tarefa. Transmissores *beacon* também carregam vários parâmetros críticos, como nível de bateria, localização, de data e hora, potência de sinal, recursos de largura de banda disponíveis, temperatura, entre outros. Estes sinais tem a função de auxiliar a sincronização, coordenação e gerenciar recursos **Error! Reference source not found.**

Neste método, os dispositivos não licenciados só podem transmitir se receberem um sinal de *beacon* que identifique os canais vagos e, é transmitido por uma estação de televisão. Este método requer uma infraestrutura dedicada e, além disso os pulsos podem ser perdidos por causa do problema nó oculto.

4.2. Geolocalização

Segundo a *Dynamic Spectrum Alliance* (DSA) e a *Federal Communications Commission* (FCC), o reconhecimento geográfico é uma exigência para os dispositivos *White Space* (DWS) [31][32]. Para que os bancos de dados identifiquem os canais disponíveis em uma determinada região, é necessário que os DWS conheçam a sua localização no globo terrestre. Para os padrões IEEE802.22 e 802.11af a exatidão exigida está na ordem de 50 m. Antes de iniciar o processo de transmissão, os dispositivos devem consultar uma Base de Dados *White Space* (BDWS) para obter uma lista de canais disponíveis, logo as mesmas devem saber a localização exata dos dispositivos envolvidos.

4.3. Sensoriamento espectral

O sensoriamento espectral é uma tecnologia chave para viabilizar os DWS acessar o espectro eletromagnético sem causar interferências nos serviços primários. A técnica consiste em coletar dados de um sinal, de forma cíclica, em uma determinada largura de faixa para inferir sobre sua disponibilidade. Caso a banda em questão esteja sendo ocupada pelo detentor do direito legal de utilizá-la, o DWS deve procurar outra banda disponível ou limitar sua potência de transmissão a um nível de interferência aceitável pelo UP. Caso o canal analisado esteja livre, o rádio *White Space* a utiliza de forma oportunista.

Assim como os sistemas de comunicação sem fio estão sujeitos aos fenômenos de propagação no canal sem fio o sensoriamento espectral também sofre com esses fenômenos, tais como o desvanecimento por múltiplos percursos e o sombreamento. Para minimizar os danos causados por tais fenômenos, o sensoriamento cooperativo torna-se um caminho natural a ser explorado **Error! Reference source not found.** Segundo a FCC nenhum algoritmo específico foi determinado para a realização do sensoriamento espectral.

O sensoriamento espectral pode ser feito por um (não cooperativo) ou mais RCs (cooperativo). O modelo cooperativo é mais promissor, pois melhora a confiabilidade na detecção do UP frente à ocorrência de desvanecimentos multipercurso, sombreamento e incerteza do receptor [18].

4.4. Base de dados *White Space*

Uma Base de Dados *White Space* tem a finalidade de fornecer a um usuário secundário (US) um conjunto de parâmetros operacionais como, por exemplo, frequências disponíveis para uso, a máxima potência de transmissão e, em alguns casos, a autorização para transmissão. O *Dispositivo White Space* (DWS) por sua vez deve retornar a sua localização, identificações de fabricante, tipo de tecnologia e configurações da antena transmissora **Error! Reference source not found.**

A fim de prover esse serviço, o BDWS deve possuir informações sobre todos transmissores de televisão que operam na região onde os DWS estão instalados. Dessa forma, é possível que se determine quais os canais não estão em uso pelos usuários primários. Outro requisito mandatório é a atualização periódica das bases de dados, de acordo com determinação da agência reguladora. Logo, é necessário que os BDWS estejam sempre conectados à Internet.

A falta de informação correta sobre as antenas transmissoras acarretará erros, se um canal indicado como disponível já estiver em uso. Um banco de dados ineficiente pode ainda provocar interferências em serviços de usuários primários.

Diversos países já possuem uma sólida base dados em operação, e muitos outros já as estão desenvolvendo. No Brasil não foram encontrados nenhuma empresa que forneça um banco de dados para operação nos WS. Ainda assim, dispositivos que operam no WS já estão sendo comercializados e o desenvolvimento de um banco passa a ser pré-requisito para sua operação.

4.4.1. Protocol to Access White Space Database (PAWS)

O *Internet Engineering Task Force* (IETF) é uma das entidades responsáveis pela criação de padrões e protocolos que são utilizados mundialmente em redes de computadores. Existe um grupo de trabalho do IETF que desenvolveu um protocolo cujos BDWS devem seguir para se comunicar com os dispositivos clientes, o *Protocol to Access White Space Database* (PAWS) **Error! Reference source not found.** [27].

O objetivo do PAWS é gerenciar o compartilhamento de espectro e padronizar a maneira como os BDWS são acessados, garantindo assim a interoperabilidade entre vários dispositivos. O protocolo define de que forma os dispositivos devem acessar e utilizar os bancos de dados. Neste

contexto, dois tipos de dispositivos são definidos: os Dispositivos Mestre, ou modo 2 (DM) e os Dispositivos Escravos (DE), ou modo 1.

Os Dispositivos Mestres são aqueles que vão se conectar ao banco de dados. Os dispositivos Escravos realizam um pedido a um DM, que o encaminha para os bancos de dados. O PAWS define a maneira como os dispositivos mestre se comunicam com as bases.

4.5. Relação entre os tipos de dispositivos e requisitos

Abaixo é apresentado a relação entre as classificações de dispositivos *white space* e os requisitos necessários, segundo a FCC.

Tabela 1: Sumário dos requisitos necessários, de acordo com a FCC [32].

| | Dispositivo Fixo | Dispositivo Portátil | | |
|--------------------------------|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| | | Modo I (Escravo) | Modo II (Mestre) | Sensores de espectro |
| Sinalização por Beacons | Não obrigatório | Não obrigatório | Não obrigatório | Não obrigatório |
| Geolocalização | Obrigatório (± 50 m) | Não obrigatório | Obrigatório (± 50 m) | Não obrigatório |
| Acesso à BDWS | Obrigatório | Não obrigatório | Obrigatório | Não obrigatório |
| Sensoriamento espectral | Não obrigatório | Não obrigatório | Não obrigatório | Obrigatório |
| Canais de operação | 2-51 | | | |
| Potência (EIRP) | 4 W | 100 mW | 100 mW | 50 mW |

5. Protocolos compatíveis com os *White Spaces*

A perspectiva de ter uma grande disponibilidade de espectro reutilizável combinada com características favoráveis de atenuação por espaço livre nesta faixa de frequência tem desencadeado a elaboração de diversas normas e protocolos para operação em canais não ocupados. Os requisitos apresentados na seção anterior especificam os meios para obter o acesso ao espectro sem interferir nos usuários licenciados. A finalidade desta seção é apresentar um resumo dos principais protocolos existentes que estão sendo ou já foram aprovados pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*) para operação nos *White Spaces* (WS) das faixas destinadas à televisão. Os protocolos têm a função de especificar o conjunto de métodos e tecnologias que irão possibilitar a operação nos WS. Destacam-se os protocolos 802.11af e 802.22 cujo objetivo principal é prover acesso à Internet através da utilização dos canais não ocupados na faixa de TV.

5.1. IEEE 802.11af

O IEEE802.11 estabelece um conjunto de padrões que especificam sistemas de comunicação sem fio para operação em modo WLAN (*Wireless Local Area Network*, em português, Rede Local Sem Fios). O protocolo 802.11af é uma modificação do padrão 802.11 que possibilita a operação nos WSs. Para isso, este conjunto incorpora uma série de funcionalidades cognitivas, geolocalização e acesso a bancos de dados.

Existem dois possíveis cenários para implantar o padrão 802.11af: uso Interno (*Indoor*), para coberturas de regiões em um raio menor de 100m, como em redes WLAN 802.11 existentes; e uso externo (*Outdoor*), com os pontos de acesso cobrindo até 5 km, dependendo das condições do enlace.

Os sistemas WLAN operam geralmente na faixa de GHz do espectro eletromagnético, mais especificamente 2,4 GHz, 5 GHz, e 3,6 GHz. Desta forma as camadas física e de enlace são otimizadas para esta faixa de frequência. A fim de migrar para a banda de TV, o protocolo IEEE802.11af está sendo escrito para ser flexível o suficiente para acomodar essa faixa de frequência e atender às exigências de diferentes agências reguladoras em cada país.

No protocolo IEEE 802.11af os pontos de acesso enviam as próprias informações de geolocalização, obtidas através de satélites, via GPS, a fim de solicitar a lista de canais de TV disponíveis nos bancos de dados WS. O dispositivo pode carregar as informações de canais não ocupados para vários pontos selecionados nas imediações em relação a sua posição atual. A partir dos dados de uma região de operação, o dispositivo pode definir em qual frequência ele irá operar. Esses agrupamentos são denominados de listas de canais sobrepostas. Essa lista de canais pode então ser usada sem a consulta a um banco de dados em um período de até 24h. Ao final desse período uma nova consulta precisa ser feita. O ponto de acesso deve checar a sua posição a cada 60 segundos e se um novo local for detectado, fora dos limites armazenados de sua área de operação, o dispositivo necessita entrar em contato com o banco de dados para obter uma nova lista de canais válidos.

5.2. IEEE 802.22

IEEE 802.22 é a primeira iniciativa de padronização para as WRAN (em inglês *Wireless Regional Area Network*, ou redes de cobertura regional). O diferencial deste padrão são os mecanismos que permitem a coexistência entre usuários primários (UP) e usuários secundários (US) na faixa de TV.

O objetivo principal da criação padrão 802.22 é fornecer um acesso de banda larga sem fio em áreas rurais ou com baixa densidade populacional. Pretende-se atingir esse objetivo fazendo uso de conceitos de rádios cognitivos. A área de cobertura prevista é tipicamente de 17–30 km (possivelmente até 100 km, dependendo das condições do enlace, EIRP e altura da antena).

O protocolo abrange dois tipos de dispositivos: as estações base e o terminais de cliente. Os dispositivos clientes suportam conexões de até 512 dispositivos. A taxa de dados máxima é de 18 Mbps em canais com 6 MHz de largura de banda. A taxa mínima de dados determinada é 1,5 Mbps para o fluxo de *downlink* e 384 kbps para o *uplink* quando o cliente está localizado na borda da célula. Durante a transmissão do *payload* o sistema utiliza modulação adaptativa com base nas características do canal, permitindo maior flexibilidade e qualidade de serviço.

A camada de enlace fornece um conjunto de funcionalidades cognitivas para a proteção dos usuários primários e dá suporte a sensoriamento espectral. O protocolo suporta conexões do tipo ponto a ponto e ponto multiponto.

Além disso, um algoritmo de seleção de canal e sensoriamento de espectro são especificados para fornecer diretrizes para permitir a transmissão, ou não, em um canal de TV. Os dispositivos IEEE 802.22 utilizam sistemas e hardware que são relativamente mais sofisticados para alcançar a detecção e proteção de usuários primários e garantir a qualidade de serviço.

De acordo com o IEEE existem dois modos de posicionamento geográfico que podem ser usados pelo protocolo 802.22: uma feita por satélites de forma obrigatória e outra opcional feita por geolocalização terrestre. A tecnologia deve detectar se qualquer dispositivo na rede se move por uma distância maior que 50 m. Nesse caso as estações base e os dispositivos de clientes devem seguir as normas locais, determinadas pela agência reguladora, e obter uma nova lista de canais disponíveis a partir do serviço do banco de dados.

5.3. IEEE 802.15.4m

O IEEE 802.15.4 especifica os protocolos para as redes WPAN, (*Wireless Personal Area Network*). A fim de permitir operação das WPAN nos WS o IEEE formou o grupo de trabalho IEEE 802.15.4m. Este protocolo mira dispositivos de menor complexidade, baixas taxas de transmissão e consumo de energia. Alguns dos exemplos de aplicação para este padrão são sensores para *Smart Grid*, comunicação M2M (*Machine to Machine*) e eletrodomésticos inteligentes.

O IEEE 802.15.4m suporta taxas de dados que variam de 40 kbps até 2 Mbps. A topologia de rede adotada mescla tecnologias *peer-to-peer* e *mesh* permitindo uma maior escalabilidade. O grande desafio deste protocolo é obter uma rede flexível capaz de operar dentro de contexto dos WSs, enquanto mantém o desempenho esperado dos sistemas WPAN [11].

5.4. IEEE 802.19.1

O IEEE 802.19.1 especifica protocolos para troca de informações entre sistemas de telecomunicações operando em redes locais e metropolitanas. É uma iniciativa que propõe o desenvolvimento de um *framework* para coexistência entre os sistemas baseados no IEEE 802 que utilizam os *White Spaces*. O objetivo é permitir que as famílias de padrões de comunicação sem fio diferentes possam coexistir e compartilhar os espaços em branco do espectro eletromagnético de forma eficiente.

A maior dificuldade na elaboração deste padrão é que ele deve ser capaz de se adaptar aos demais protocolos WS que estão em elaboração ou já estabelecidos. Este projeto enfrenta muitas dificuldades em sua especificação uma vez que a elaboração depende da participação e

colaboração de vários grupos de trabalho com objetivos e interesses distintos. A ausência de unidade pode impedir o desenvolvimento de mecanismos de coexistência.

5.5. IEEE DYSPAN SC P1900.7

O IEEE DySPAN-SC foi estabelecido pela IEEE *Communications Society* para desenvolver protocolos que lidam com as novas tecnologias para os rádios de próxima geração e gerenciamento avançado do espectro eletromagnético. O grupo de pesquisa IEEE P1900.7 foi designado para especificar as tecnologias de acesso dinâmico ao espectro eletromagnético voltado para os *White Spaces* na faixa de TV. O escopo do 1900.7 realiza a especificação das interfaces de rádio nas camadas física e enlace. O projeto pretende dar suporte para comunicações entre terminais fixos e móveis, evitando interferências prejudiciais aos usuários primários.

5.6. Comparação entre os protocolos 802.11af e 802.22

Esta seção apresenta uma comparação entre os protocolos IEEE 802.11af e 802.22, posto que estes têm como finalidade prover acesso à Internet através da utilização dos canais de TV que não estão ocupados. A análise apresentada é feita do ponto de vista da camada física, camada de enlace e introduzindo a camada cognitiva. A **Tabela 2** apresentada abaixo mostra a comparação das características do ponto de vista da camada física.

Tabela 2: Requisito para camada física **Error! Reference source not found.**

| | 802.11af (WLAN) | | 802.22 (WRAN) | |
|--|-------------------------------------|--------------------|---|---------|
| Potência equivalente isotrópica radiada (W) | 100mW | | 4W | |
| Cobertura | Interno: até 100m | Externo: Alguns km | Tipicamente: 17 a 33 km, podendo ir até 100 km. | |
| Espalhamento de Atraso máximo (μ s) | < 1 | 1 a 10 | 11 a 25 | 25 a 60 |
| Tamanho da FFT (<i>Fast Fourier Transform</i>) | 64, 128, 256, 512 e 1024 | | 2048 | |
| Largura de faixa (MHz) | 5, 10, 20, 40 | | 6, 7, 8 | |
| Taxa Máxima de transmissão (Mbps) | 12 | | 18 - 22,69 * | |
| Modulação | OFDM | | OFDM | |
| Modulação do <i>payload</i> | BPSK, QPSK, 16-QAM, 64-QAM | | QPSK, 16-QAM, 64-QAM | |
| Código corretor de erro | Convolutacional | | Convolutacional, CTC, LDPC, SBTC | |

*dependendo da largura de Banda disponível.

A **Tabela 3** mostra as características da camada de enlace nos dois protocolos.

Tabela 3: Requisitos para camada de enlace **Error! Reference source not found.**

| | 802.11af (WLAN) | 802.22(WRAN) |
|--|-----------------|--------------|
| Suporte para associação de canais | Não | Não |
| Suporte para topologia celular | Não | Sim |
| Suporte para mobilidade e <i>handover</i> | Não | Não |
| Suporte para topologia <i>mesh</i> | Sim | Não |
| Distância máxima para eficiência da camada MAC | Curtas e médias | 17 - 33Km |
| Eficiência energética | Sim | Não |
| Auto - Coexistência | Sim | Sim |
| Método de múltiplo acesso | CSMA /CS, TDMA | OFDMA |

A **Tabela 4** exhibe as capacidades cognitivas que deverão ser implementadas nos sistemas para que estejam de acordo com os protocolos apresentados.

Tabela 4: Requisitos para camada Cognitiva **Error! Reference source not found.**

| | 802.11af (WLAN) | 802.22(WRAN) |
|---|-----------------|--------------|
| Sensoriamento espectral | Não | Sim |
| Interface com dispositivos de geolocalização | Sim | Sim |
| Períodos de silêncio para sensoriamento espectral | Não | Sim |
| Interface com base de dados TVWS | Sim | Sim |

Como pode ser visto na **Tabela 3**, o IEEE 802.11af utiliza técnica CSMA (*Carrier Sense Multiple Access*), como método de múltiplo acesso. Esta solução tem forte adesão nas famílias IEEE 802 **Error! Reference source not found.**. O histórico de utilização desta técnica por outros protocolos é conveniente para interconexões de sistemas e para adequar os parâmetros de qualidade de serviço.

A potência de transmissão de 100 mW no IEEE802.11af limita a área cobertura, entretanto é uma opção viável para implantação em pequenos ambientes (*indoor*), com células menores facilitando o reuso de frequências. O IEEE 802.22 permite até 4 W de potência máxima de transmissão, fazendo com que esta seja a solução mais atrativa para a cobertura de locais remotos**Error! Reference source not found.**

Comparando os demais parâmetros de camada física percebe-se que os protocolos não possuem muitas divergências. As diferenças podem ser vistas na camada de enlace, o que pode prejudicar os mecanismos de coexistência entre redes distintas. Em relação à camada cognitiva em ambos os padrões a geolocalização e comunicação com o banco de dados WS devem ser implementadas. Entretanto é notável que o padrão 802.22 tem o conjunto mais completo de propriedades cognitivas o que torna o desenvolvimento de *hardware* compatível mais caro e complexo, dificultando assim uma rápida introdução ao mercado**Error! Reference source not found.**

5.7. Compatibilidade dos protocolos com os cenários considerados

Cada um dos cenários de utilização descritos anteriormente pode ser associado a um dos protocolos descritos na seção cinco. A **Tabela 5** apresenta as características necessárias esperadas para cada um dos modelos de aplicação.

Tabela 5: Requisitos para os cenários de aplicações para comunicações em TVWS [11]**Error! Reference source not found.**

| Cenário de Aplicação | Taxa de dados | Distância | BER | Mobilidade | Protocolos compatíveis |
|---|-------------------------|----------------------|--------------------|-------------------|------------------------|
| Acesso à banda larga para zonas Rurais | Vários Mbps | Várias dezenas de km | 1×10^{-4} | Fixa até 180 km/h | 802.22, 1900.7 |
| Internet das coisas | Várias centenas de kbps | Vários km | 1×10^{-3} | Fixa até 4 km/h | 802.15.4m |
| Redes Industriais, municipais e <i>smart campus</i> | Vários Mbps | Várias dezenas de km | 1×10^{-4} | Fixa até 180 km/h | 802.11af, 802.22 |
| <i>White Space Indoor</i> | Vários Mbps | Até 20 m | 1×10^{-6} | Fixa até 4 km/h | 802.11af |
| Segurança pública | Vários Mbps | Vários km | 1×10^{-4} | Fixa até 180 km/h | 802.22,1900.7 |
| Banda larga nos transportes | Vários Mbps | Várias dezenas de km | 1×10^{-4} | Até 300km/h | 802.22,1900.7 |

6. Propostas de ensaio de convivência com sistemas ISDB-T: Interferência de canal adjacente

Um dos grupos de trabalho da FCC (*Federal Communications Commission*) no ano de 2015 modificou as regras que autorizam os dispositivos *White Space* operar nos canais de televisão que não estão ocupados por serviços primários. Estas alterações permitiram a operação de rádios não licenciados nas bandas de 600 MHz, nas faixas de guarda, no canal 37 (antes reservado para radioastronomia), além das bandas de TV.

Este capítulo tem por finalidade propor um ensaio, baseado em [34][35], para teste de convivência entre sistemas de rádios que operam nos WS com os usuários primários utilizando sistemas digitais de radiodifusão de sons e imagens (TV digital), utilizando o padrão ISDB-T. Pretende-se verificar a viabilidade de coexistência de diferentes tecnologias operando na mesma faixa de frequência, operando em canais adjacentes (N).

A realização deste experimento pretende estabelecer os seguintes parâmetros:

- Limiar de Saturação (Oth) do receptor sob teste, frente ao sinal do DWS;
- ACP (*Adjacent Channel Power* do transmissor interferente;
- Relação de Proteção (RP) de canal adjacente e relação de proteção de canal imagem receptor tipo can tuner.

Através da determinação do limiar de saturação encontrar a relação de proteção entre canais adjacentes através da determinação do ponto de interferência prejudicial. Este ensaio considera que os canais UHF adjacentes estão espaçados de 428,571 KHz (6/14 MHz), conforme a recomendação ARIB STD-B31 [33]. A Figura 2 ilustra essa situação.

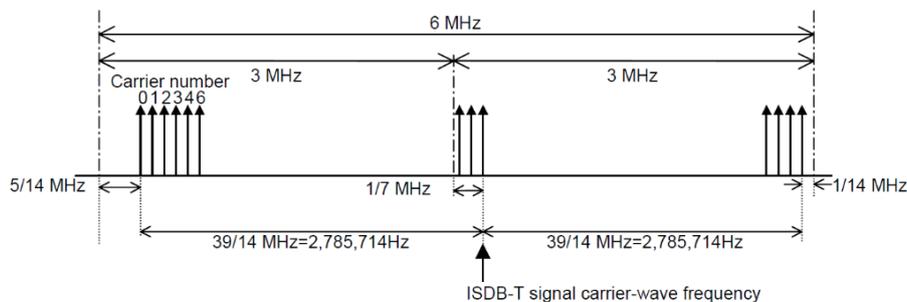


Figura 2: Separação de canais ISDB-T segundo ARIB STD-B31 [33]

Os sinais, interferido e interferente, simulam condições estáticas em meio confinado. O desvanecimento de multipercurso é desconsiderado neste relatório.

A partir desses valores, pode-se calcular qual seriam as condições que permitiriam a convivência entre os sistemas, seja definindo melhorias requeridas em relação à seletividade dos receptores de TV ou às emissões indesejáveis dos dispositivos interferentes, seja definindo limitações nas características de operação e instalação do sistema interferente. Deve-se considerar a possibilidade de interferência tanto da estação base de TVWS, quanto da estação cliente de TVWS.

6.1. Requisitos para realização do ensaio

A fim de executar o ensaio proposto nesta seção, um modo de teste acessível por pessoal de teste (técnico), mas não por usuários finais, deve ser incorporado no DWS submetido para avaliação. Este modo de teste deve, no mínimo, fornecer **Error! Reference source not found.**:

- a. A capacidade de compelir o dispositivo sob/em teste (a) para operar em um canal selecionável pelo operador responsável pelo teste.
- b. A capacidade de variar a potência de saída do nível mínimo para o máximo (nominal) e configurá-lo para um nível fixo desejado.
- c. A capacidade de transmitir continuamente um sinal modulado, sem rajadas ou chaveamento no tempo.

6.2. Emissão fora da faixa

Segundo a FCC um dispositivo fixo não pode operar nos primeiros canais adjacentes, em ambos os lados ($N \pm 1$), ocupado por um usuário licenciado **Error! Reference source not found.**. Entretanto no Brasil não existe nenhuma recomendação semelhante. Um dispositivo pessoal/portátil tem permissão para utilizar os primeiros canais adjacentes, desde que a potência de transmissão seja limitada a 40 MW/canal.

Os rádios White Space devem atingir a seguinte atenuação em canais adjacentes, conforme mostram as tabelas abaixo **Error! Reference source not found.**.

6.2.1. Dispositivos Fixos

Tabela 6: Limites para emissões fora da faixa, em DWS fixos [32]

| EIRP (6 MHz) | Limite de potência conduzida (6 MHz) | Densidade espectral de potência conduzida (em faixas de 100 kHz) | Limites de emissão conduzida em canal adjacente (100kHz) |
|------------------|--------------------------------------|--|--|
| 16 dBm (40 mW) | 10 dBm (10 mW) | -7.4 dBm | -62.8 dBm |
| 20 dBm (100 mW) | 14 dBm (25 mW) | -3.4 dBm | -58.8 dBm |
| 24 dBm (250 mW) | 18 dBm (63 mW) | 0.6 dBm | -54.8 dBm |
| 28 dBm (625 mW) | 22 dBm (158 mW) | 4.6 dBm | -50.8 dBm |
| 32 dBm (1600 mW) | 26 dBm (400 mW) | 8.6 dBm | -46.8 dBm |
| 36 dBm (4000 mW) | 30 dBm (1000 mW) | 12.6 dBm | -42.8 dBm |

6.2.2. Dispositivos Pessoais/Portáteis

Tabela 7: Limites para emissões fora da faixa, em DWS pessoais/Portáteis [32]

| EIRP (6 MHz) | Limite de Densidade espectral de potência radiada (EIRP; 100 kHz) | Radiated adjacent channel emission limit EIRP (100 kHz) |
|-----------------|---|---|
| 16 dBm (40 mW) | -1.4 dBm | -56.8 dBm |
| 20 dBm (100 mW) | 2.6 dBm | -52.8 dBm |

6.3. Arranjo de medidas proposto

Para realização do ensaio proposto, recomenda-se o seguinte arranjo, conforme o diagrama de blocos apresentado na Figura 3.

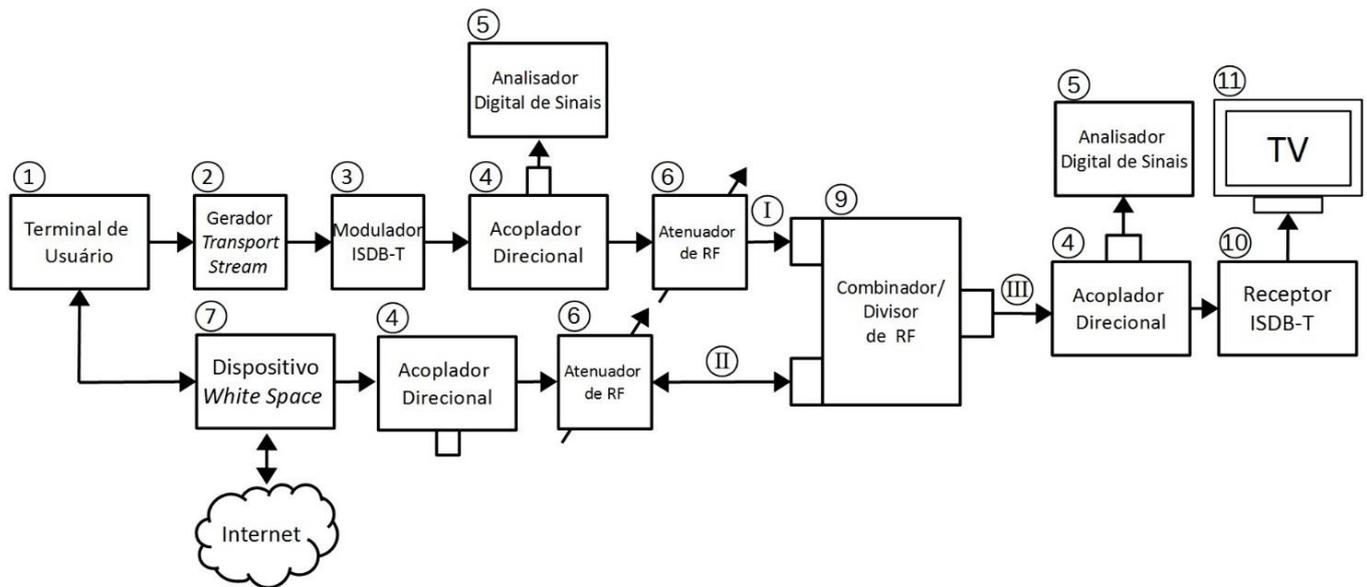


Figura 3: Arranjo de medidas proposto para realização

6.4. Determinação do ponto de falha

O critério proposto neste relatório para determinação do ponto de falha foi o definido na recomendação ITU-R BT.1368-12. Em receptores ISDB-T domésticos comumente não é possível realizar medida da taxa de erro de bits (BER, da sigla em inglês *Bit error rate*). Desta maneira, novos métodos foram propostos pela ITU para medir a relação de proteção, e garantir a integridade do serviço [35]. De acordo com esta recomendação a relação de proteção é determinada subjetivamente através da avaliação de qualidade da imagem. Os ensaios devem ser realizados em ambiente neutro e controlado. O ponto no qual começam a ocorrer perturbações na imagem é também denominado de ToV (*Threshold of Visibility*) ou Limiar de Visibilidade. A condição limite ocorre quando não se observa erros na imagem nos primeiros 20 segundos de observação.

No ensaio proposto a aplicação do método é realizada pela variação do nível do sinal interferente, enquanto se observa a tela dos receptores em teste. Partindo da condição de recepção normal, o nível do sinal interferente é aumentado até o ponto em que é visivelmente perceptível erros constantes ou o congelamento da imagem na tela.

6.5. Caracterização do sinal ISDB-T

O padrão de TV Digital Brasileiro utiliza a tecnologia ISDB-T segundo norma ABNT NBR 15601 [44]. Antes de iniciar o ensaio deve-se realizar a caracterização do sinal de TV. O equipamento ISDB-T utilizado deve ser capaz de ajustar a frequência de operação em todos os canais disponíveis para operação no padrão Brasileiro de TV digital. Um exemplo de tela de configuração de sinal TVD pode

ser visto na Figura 4. A Tabela 8 apresenta um exemplo típico de configuração de sinal ISDB-T para realização dos ensaios.

Tabela 8: Exemplo de caracterização de sinal de TV usado para ensaio de testes de convivência

| Camada | A | B | B' |
|---------------------|--------------|-------|-------|
| Número de segmentos | 12 | 12 | - |
| Modulação | QPSK | 64QAM | 16QAM |
| FEC | 2/3 | 3/4 | - |
| Time Interleaving | 4 | 2 | - |
| Largura do canal | 5,572421 MHz | | |
| Recepção Parcial | Sim | | |
| Modo | MODE 3 (8k) | | |
| Intervalo de Guarda | 1/8 | | |

Figura 4: Exemplo de tela de configuração de sinal ISDB-T 64QAM

A Figura 5 apresenta a um exemplo de medidas, realizadas com o analisador de digital sinais, para caracterização do sinal TVD gerado.

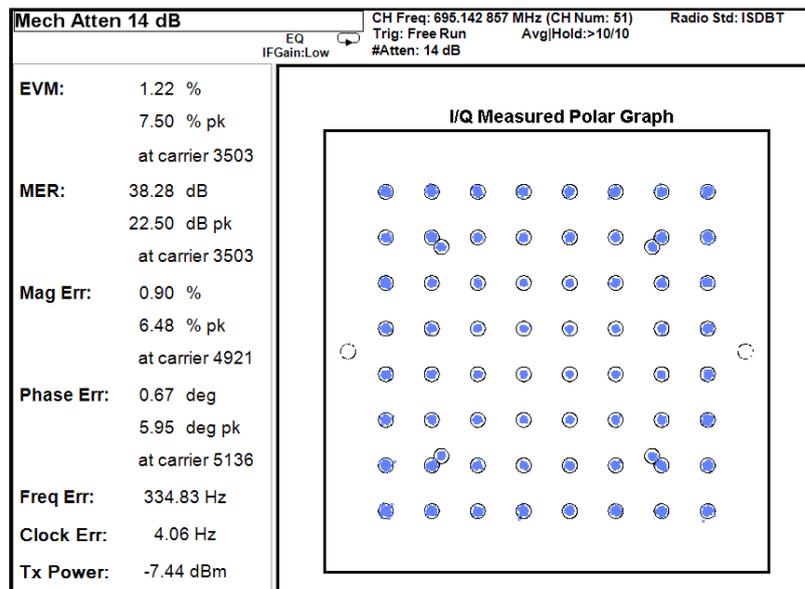


Figura 5: Exemplo de caracterização de sinal ISDB-T 64QAM, medido analisador digital de sinais.

6.6. Ajuste do limiar de recepção dos receptores ISDB-T

O limiar de recepção, expressa o nível em dBm o qual o receptor sob teste deverá operar ao longo do ensaio. Para determinação do limiar de recepção dos receptores sob teste recomenda-se os seguintes procedimentos, de acordo com [34]:

- Ajustar o sinal de TVD para um canal **N** com nível inicialmente de -70 dBm e modulação 64QAM.
- Aplicar sinal TVD caracterizado conforme o arranjo descrito em 6.3 .
- Realizar a conferência se o video está sendo exibido, sem falhas, pelos receptores.
- Ajustar o nível do sinal de TVD até que haja falhas visíveis e constantes na imagem (independente da acuidade visual do observador). Observar a estabilização da qualidade da imagem, por pelo menos 20 s, de acordo com a recomendação ITU-R BT.1368-12.
- A partir deste ponto, aumentar o nível do sinal TVD em 3 dB.
- Conferir o nível encontrado utilizando analisador digital de sinais, no modo de medição de potência de canal, com 6 MHz de banda de integração.
- Anotar o valor encontrado para o receptor sob teste. Usar esse valor durante todo o procedimento.
- Repetir os itens itens de **(a)** a **(g)** para para todos os receptores que serão analisados.

6.7. Procedimento de ensaio para teste de limiar de saturação

Esta seção descreve o procedimento proposto para realização do teste de convivência apresentados no relatório.

- Ajustar a potência do sinal ISDB-T caracterizado, de acordo com o procedimento descrito em na seção anterior, configurado em canal **N**, conforme lista de canais apresentados no **anexo 1**.
- Habilitar o modo de testes do Dispositivo White space sob teste (Mestre).
- Aplicar o sinal interferente do DWS sob teste operando em canal adjacente inferior (**N-1**) válido.

- d. É necessário conferir se o dispositivo *White Space* está respeitando a faixa de guarda para sinais ISDB-T, conforme estabelecido por norma. A Figura 6 demonstra um exemplo de conferência do espaçamento entre os canais ajustados utilizando o analisador digital de sinais, no modo ISDB-T.

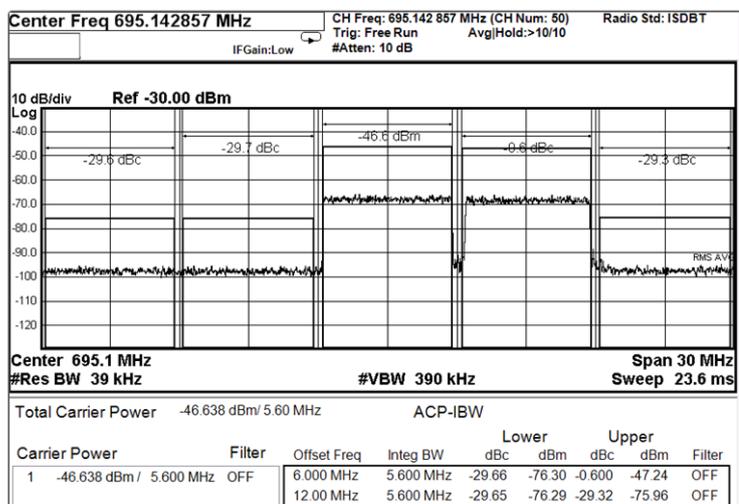


Figura 6: Exemplo de separação entre canais UHF para teste em canal adjacente.

- e. Após a conformidade com o passo acima, aumentar o nível de potência do sinal interferente em passos de 1 dB até que a imagem apresente erros visíveis e constantes.
- f. Ao atingir a ponto de falha anotar os valores medidos.
Realizar a medida com analisador digital de sinais, no modo potência de canal, com *Span* de 10MHz, banda de integração de 6Mhz e RBW de 100Khz. Recomenda-se utilizar média de 10 traços para visualização dos sinais. Repetir todas as medidas por pelo menos três vezes para a garantia metrológica obtendo desta o valor médio da medição. Leve em consideração nos cálculos as perdas nos cabos e adaptadores.
- g. Repetir os procedimentos (a) até (e) inserindo o sinal Interferente operando no canal adjacente **N+1**.
- h. Repetir os procedimentos (a) até (g) para outras modulações de sinal ISDB-T, previamente caracterizado.

O procedimento deve ser repetido em todos os receptores de TV submetidos ao teste e em todos canais desejados. Recomenda-se avaliar canais no início, meio e fim da banda de TV. Caso receptores do tipo *can tuner* estejam sendo utilizados, realizar teste para frequência de canal imagem canal

6.8. Considerações

1. Todos os cabos utilizados devem ser caracterizados utilizando um equipamento do tipo *network analyzer*.
2. Recomenda-se que utilize o mesmo vídeo de referência, em formato TS, para todos os receptores, durante toda seção de ensaio.
3. Pode ser necessário utilizar um computador pessoal conectado, com IP fixo, à porta de terminal de controle para efetuar as configurações necessárias em cada dispositivo *White Space*.

4. Após a definição dos equipamentos e, por consequência, de sua potência de transmissão e sensibilidade de recepção, devem ser definidos os valores dos atenuadores. Recomenda-se no mínimo dois atenuadores com passo de 1 dB.
5. O combinador 2:1 que “soma” o sinal interferente com o sinal desejado (ISDB-T) deve possuir certa isolamento (típico maior que 20 dB) para que o sinal ISDB-T não influencie no canal de dados entre a o DM e DE.

7. Teste com Equipamento *Carlson RuralConnect*

Em abril de 2017, o Instituto Nacional de Telecomunicações (Inatel), através do Centro de Referência em Radiocomunicações recebeu, através de parceria com a organização *White Space Alliance*, um conjunto de rádios para operação em White Space, afim de, inicialmente, verificar a possibilidade de operação destes em território nacional.

Este capítulo apresenta um estudo de caso com o equipamento *RuralConnect* da empresa *Carlson Wireless Technologies* [48], um dos primeiros rádios para operação em *White Spaces* lançados comercialmente. Os equipamentos recebidos para avaliação são apresentados na Figura 7.



Figura 7: Conjunto de equipamentos *RuralConnect*, da *Carlson*: Estação base (Preto) e terminal de cliente (Azul)

As características técnicas conjunto em análise são apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9: Características do equipamento *RuralConnect*

| Dados do equipamento | |
|---|---|
| Frequências de Operação | UHF 470-786 MHz (EUA e UE) |
| Espaçamento entre canais | 6 MHz (EUA), 8 MHz (UE) |
| Largura de faixa | 100 kHz (M2M) até 4.5 MHz (Rural) |
| Modulação na camada física | SC-FDE (Portadora Única, com equalização no domínio da frequência) * |
| Modulação do <i>Payload</i> | QPSK, 16QAM |
| Taxa de dados | 4, 6, 8, 12, e 16 Mbps |
| Controle de taxa de dados | Dinâmico ou fixo |
| Interface de recepção | Proprietária |
| Sensibilidade de recepção | -89 dBm para 1×10^{-6} BER com QPSK 1/2 -86 dBm para 1×10^{-6} BER com 16QAM 1/2 |
| Nível Máximo de recepção | -16 dBm com canal plano |
| Bloqueio de recepção (Isolamento de RF) | -50 dBm para transmissores de TV em canal N+2 -20 dBm para estações rádio base |
| Múltiplo Acesso | TDMA (<i>Time Division Multiple Access</i>) |
| Portas de usuário | 10/100/1000 Mbps Ethernet |

7.1. Configuração

Inicia-se o processo conectando a estação rádio base à rede local. A gestão local de um sistema *RuralConnect* é feito através de uma interface gráfica de usuário acessada através de um navegador *web*. A página de configuração está hospedada no próprio equipamento. Antes de iniciar as operações é necessário registrar todos os clientes que irão compor a rede que a ser configurada. A Figura 8 ilustra a tela de configuração do sistema.

Owner Information

Samuel Moreira
 Inatel : Instituto Nacional de Telecomunicações
 samuelm@inatel.br
 3534719200
[Edit](#) | [View details](#)

Rádios

| Id | Name | Role | Registration | Enabled | |
|--------------------------------------|----------------------|-------------|--------------|---------|---|
| 32388c79-2cc0-4d78-8d90-8ac71d2b65b3 | CRR_White_Space_Test | BaseStation | Registered | | Edit Details |
| ffd215c6-1a4d-42d3-ba58-db11b59ea66f | CRR_RC_001752 | Client | Registered | ✓ | Edit Details Delete |
| a36a86d7-f141-4151-af89-a08d3c417f85 | CRR_RC_001753 | Client | Registered | ✓ | Edit Details Delete |
| ec52151a-109c-4f4b-a50b-aecfa063124 | CRR_RC_001754 | Client | Registered | ✓ | Edit Details Delete |

[Register a new client](#)

Operating Channel Selection

Obtaining channels from: LocalLicense [Change](#)

No preferred channels specified [Edit](#)

Channel test scan: Disabled Interval: 5 minutes

[View frequency allocations](#)

CAUTION: The below link will immediately remove all owner and radio registration details. Before using this feature, ensure you have proper records to correctly restore operation. In addition to owner information, this includes accurate geo-location coordinates and antenna heights.

[Clear registration information for all devices](#)

Figura 8: Tela inicial de configuração do DWS RuralConnect, da Carlson Wireless

As informações de geolocalização, na forma de latitude e longitude, são inseridas manualmente no sistema. A Figura 9 ilustra esta operação.



[Home](#)
[Registration](#)
[Modulation](#)
[Performance](#)
[Map](#)
[System](#)
[Account](#)

Add a new radio

Id

Provide a display name for the radio

Latitude

Longitude

Antenna Height (m)

Enabled

Notes

[Back to List](#)

Figura 9: Tela de registro de DWS, com latitude, longitude e altura da antena

Após o registro dos equipamentos que irão compor a rede, seleciona-se qual o provedor para a base de dados será utilizado. A Figura 10 mostra esta etapa.

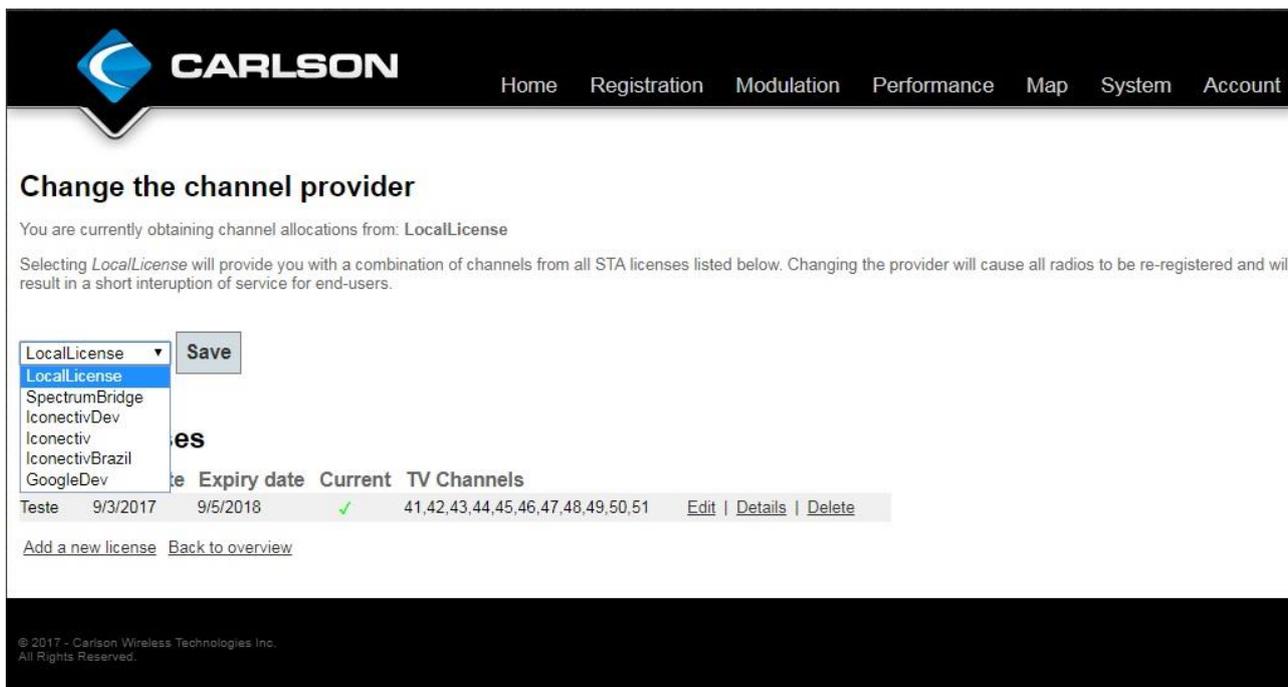


Figura 10: Seleção do provedor da BDWS

Apesar de que a empresa Iconectiv [47] apresente uma base de dados para operação no Brasil, conforme ilustra a Figura 11, constatou-se que a mesma não está mais fornecendo este serviço. Desta forma os canais para transmissão devem ser inseridos manualmente pelo operador do sistema, inibindo a característica cognitiva do rádio.

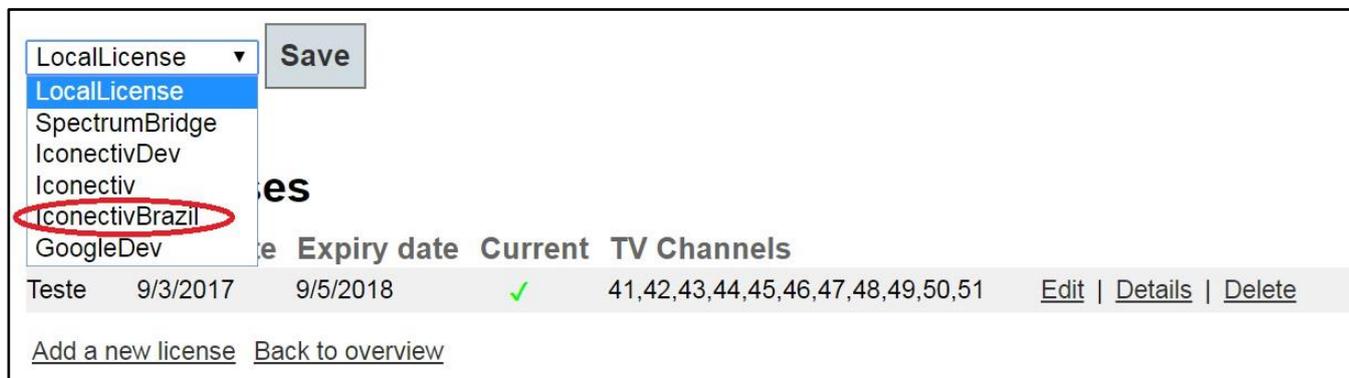


Figura 11: Base de dados White Space que estava prevista de operar no Brasil

Embora as recomendações internacionais não especificam a necessidade de o equipamento possuir um componente GPS (*Global Positioning System*) embutido, o fato de o DWS em análise não possuir tal recurso aliado a ausência de uma base de dados *White Space* operante no Brasil, permite que o equipamento possa vir a realizar uma transmissão em um canal previamente licenciado a um usuário primário.

7.2. Compatibilidade com os protocolos White Space

De acordo com as informações presentes no manual do equipamento e contato com o fabricante, o Radiotransmissor em análise não é compatível com nenhum dos protocolos IEEE,

descritos na seção cinco. Ainda que este fato não seja necessariamente um impeditivo para a utilização deste equipamento, uma vez que, até o presente momento, não existam normas nacionais para operações em canais vagos, a ausência de interoperabilidade dificultaria a escalabilidade deste sistema para redes maiores, com um número maior de dispositivos operando simultaneamente.

7.3. Montagem do Setup em Bancada

Montou-se o seguinte arranjo, conforme ilustra a Figura 12 para realização dos testes com o equipamento *RuralConnect*.

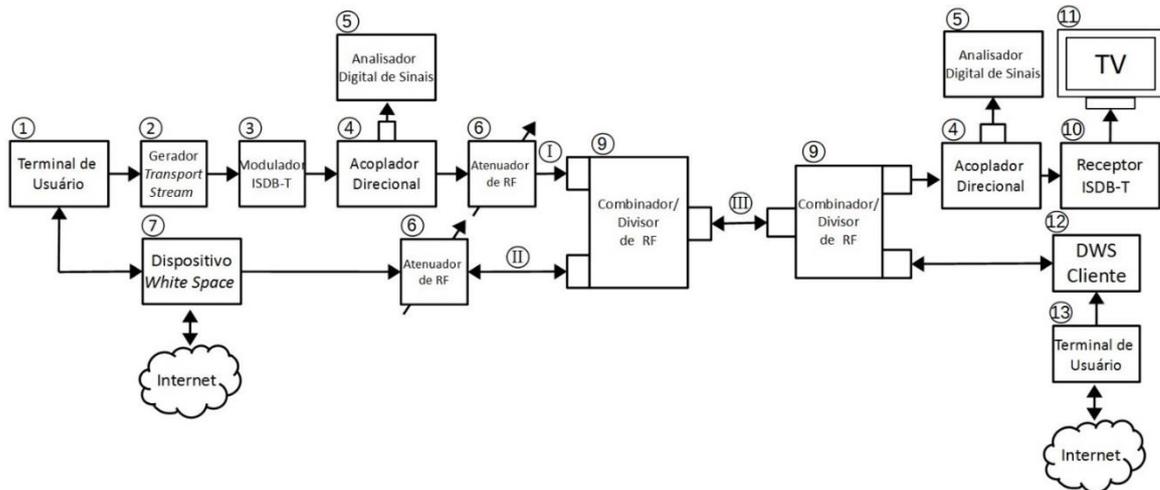


Figura 12: Arranjo montado para ensaio de convivência em bancada

A tabela 10 apresenta os equipamentos usados para A Figura 13 mostra a disposição dos equipamentos na bancada do laboratório do Centro de Referências em Radiocomunicações.

Tabela 10: Equipamentos e dispositivos utilizados nos ensaios.

| EQUIPAMENTO | FABRICANTE | MODELO |
|---------------------------------------|--------------------------|-------------|
| Estação Rádio base <i>White Space</i> | <i>Carlson Wireless</i> | |
| Estação Cliente <i>White Space</i> | <i>Carlson Wireless</i> | |
| Notebook | Avell | G1540 |
| Modulador ISDB-T Digital Exciter | Hitachi/Linear | |
| Receptor TVD | Semp Toshiba | DC2008-H |
| Adaptador ASI/SD-SDI para USB 2.0 | DekTec | DTU-245 |
| Combinador de RF | <i>Hewlett Packard</i> | 11667A |
| Atenuador de RF 20dB (x6) | JBM | J2001-20-AB |
| Adaptador de impedância 50/75Ω | JBM | J2042-BI |
| Analisador digital de sinais | <i>Keysight</i> | DSAZ632A |
| Analisador de sinais MXA | <i>Agilent/ Keysight</i> | N9020A |



Figura 13: Montagem do sistema com Radio White Space, na bancada do laboratório do Centro de Referência em Radiocomunicações

Ajustou-se o atenuador variável de RF, no lado da estação base, para 80dB, conforme recomenda o manual do equipamento. Em seguida ajustou-se manualmente o dispositivo para transmissão no canal 33 UHF. A conferência do sinal transmitido pode ser vista na Figura 14.

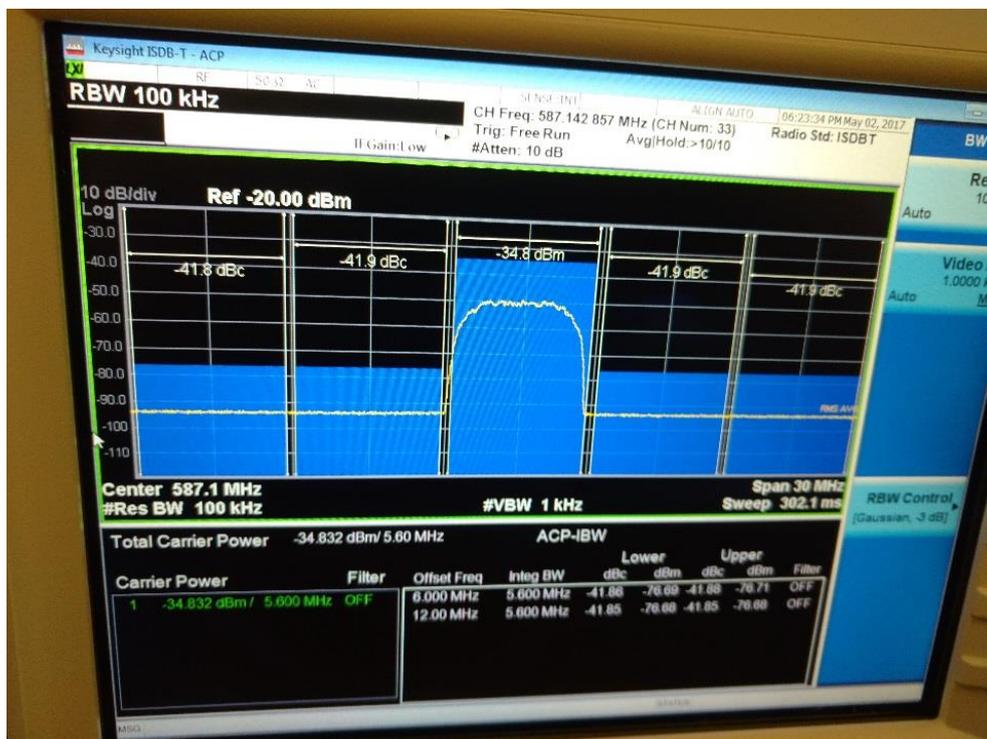


Figura 14: Sinal em RF transmitido com o rádio Carlson no canal 33 UHF

Na outra ponta do *link*, conectou-se o notebook na saída ethernet do rádio cliente. O endereço IP foi obtido automaticamente através de um servidor DHCP (*Dynamic Host Configuration Protocol*), fornecido DWS mestre. Uma vez estabelecida a conexão com a *Internet*, executou-se um teste de velocidade, utilizando uma ferramenta online.

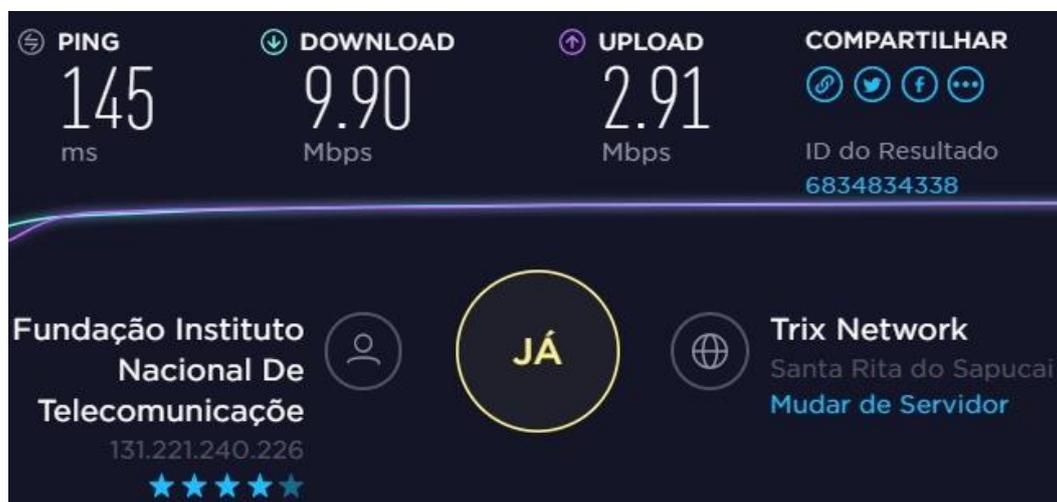


Figura 15: Teste de velocidade, após conexão o dispositivo WS cliente (modo I)

7.4. Acesso ao modo teste, para teste de convivência

Um modo de testes, conforme descrito na seção seis, não pode ser encontrado no equipamento em análise. Segundo o fabricante o equipamento não possui um modo de ensaio, conforme determinam as normas da FCC. É possível realizar algo semelhante executando uma ferramenta de *software* externa, entretanto este método não está totalmente de acordo com a recomendação [32], descrita neste documento. Este fato impossibilita a realização efetiva do teste de convivência proposto neste documento, uma vez que não foi possível deixar o rádio transmissor no modo de transmissão contínua.

7.5. Analisando a coexistência entre os sinais.

Apesar do modo de testes não estar disponível para realização do ensaio proposto, a coexistência entre sinais WS com TVD operando no canal adjacente N+1. Para geração do *Transport Stream* foi utilizado um adaptador ASI/SD-SDI USB, da empresa DekTec. Sua saída foi ligada na entrada ASI (*Asynchronous serial interface*) do *Digital Exciter*, o modulador ISDB-T da empresa Linear/Hitachi. Este equipamento entrega em sua saída o sinal em RF (Radiofrequência) na frequência do canal ajustado. Através do seu painel de controle é possível ajustar o nível do sinal TVD. Os sinais são combinados, em meio confinado, utilizando um combinador de RF. Este conjunto foi então conectado no receptor ISDB-T, e os sinais foram analisados utilizando os analisadores digitais de sinal. A potência do sinal ISDB-T foi ajustada, conforme o procedimento descrito em 6.6, configurado no canal 34 UHF. Aplicou-se sinal TVD, a imagem pode ser conferida na tela. Esta situação é mostrada na Figura 16.



Figura 16: Imagem TVD sendo exibida no canal 34 UHF, durante teste de convivência

O teste de velocidade foi então repetido, para averiguar se o *link* estabelecido ainda estava funcionando corretamente. O resultado pode ser conferido na Figura 17.

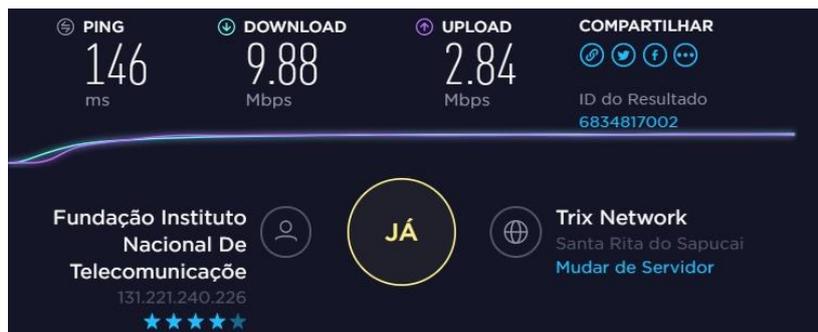


Figura 17: Teste de velocidade, após conexão o dispositivo WS cliente (modo I)

A convivência entre os sinais foi então conferida no analisador digital de sinais. O resultado é apresentado abaixo, na Figura 18.

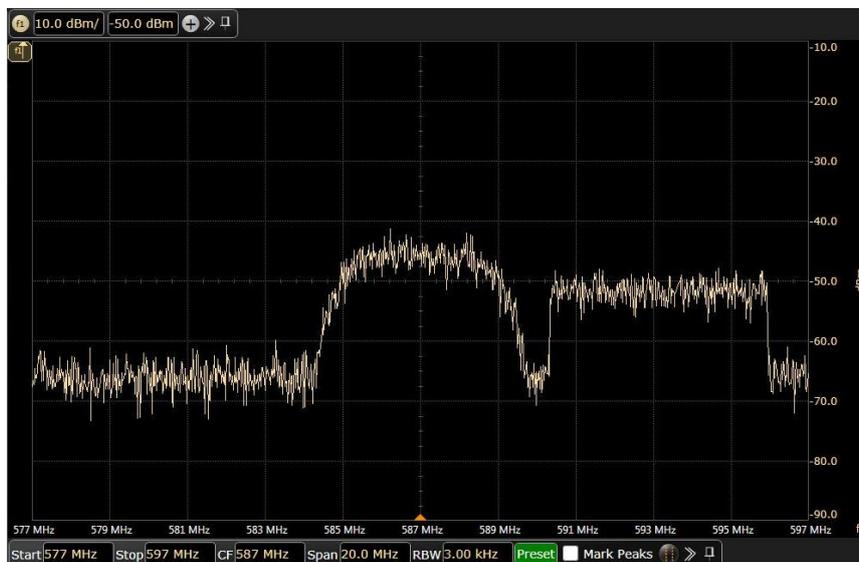


Figura 18: Ao centro no canal 33 UHF, sinal SC-FDE do rádio WS; à esquerda no canal 34 sinal OFDM, de TVD no padrão ISDB-T

8. Considerações finais:

Os TV *White Spaces* são canais não ocupados, em um determinado instante de tempo ou localidade, nas bandas de VHF e UHF que surgiram com o desligamento dos transmissores terrestres de TV analógicas. A utilização dos WS é uma solução para alcançar a inclusão digital no Brasil pois permite otimizar os recursos do espectro eletromagnético. Características como células com raio de até 30 km, uso oportunista de canais ociosos, entre outras endossam o emprego dos *White Spaces* em áreas rurais, periféricas às grandes cidades, isoladas ou de difícil acesso e baixa densidade populacional, uma vez que a oferta de Internet por outros meios inexistente ou o serviço apresenta baixa qualidade. Consentir que usuários secundários utilizem o meio disponível "destrava" a alocação tradicional de frequências existente e maximiza a sua utilização.

Os resultados dos esforços de padronização, através dos protocolos do IEEE, em conjunto com os possíveis cenários de aplicação destas tecnologias representam uma série de oportunidades comerciais para os empreendedores Brasileiros.

O estudo de caso descrito neste documento, pretendia realizar o ensaio de convivência proposto, com sistemas de TVD com no padrão ISDB-T e um DWS que já está em disponível comercialmente no mercado internacional. Embora conseguiu-se demonstrar a convivência entre sinais com diferentes tecnologias, analisando os requisitos descritos pelas as normas internacionais e a própria literatura já publicada, são notáveis que uma série de requisitos não são atendido pelo equipamento. Desta forma objetivo esperado não pode ser atingido, uma vez que apresentado os argumentos acima percebe-se que o dispositivo não está de acordo com todos os fatores considerados necessários para um radiotransmissor White Space.

O Brasil ainda não possui uma política para a utilização oportunista do espectro eletromagnético, nem uma Base de dados *White Spaces*, pública ou privada, devidamente em operação. É preciso que às condições mínimas necessárias para o devido funcionamento dos dispositivos *White Space* sejam atendidas para a implantação de redes cognitivas no país. Acredita-se que o resultando destas ações permitirá fornecer maior cobertura de acesso à *Internet* e a abertura para uma série de oportunidades para inovação.

9. Referências Bibliográficas

- [1]. I. A. M. Bonomini, D. S. Gaspar and M. C. Paiva, “Análise da demanda por recursos de comunicação para acesso à Internet,” Outubro 2015.
- [2]. I. A. M. Bonomini, D. S. Gaspar, A. D. Soares, “Análise da demanda por infraestrutura de telecomunicações para as áreas prioritárias ao desenvolvimento nacional,” Março 2016.
- [3]. BANDA LARGA – ACESSOS. Disponível em: <<http://www.anatel.gov.br/dados/component/content/article?id=269>>, acesso em Novembro de 2017.
- [4]. BEDOGNI, L. et al. Indoor use of gray and white spaces: another look at wireless indoor communication. *IEEE Vehicular Technology Magazine*, [S.L.], v. 12, n. 1, p. 63-71, jan. 2017. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/7827055/>>. Acesso em: 10 out. 2017.
- [5]. R. Horvitz and R. Struzak, TV White Spaces a Pragmatic Approach, E. Pietrosemoli and M. Zennaro, Eds., 2013.
- [6]. R. A. Saeed and S. J. Shellhammer, TV White Space Spectrum Technologies: Regulations, Standards and Applications. CRC Press, 2012.
- [7]. D. Makris and G. Gardikis, “Quantifying TV white space capacity: A Geolocation-Based Approach,” *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 9, pp. 145–152, 2012
- [8]. HARRISON, K.; MISHRA, S. M.; SAHAI, A.; *How much white-space capacity is there?* , em Proceedings of IEEE Symposium em New Frontiers in Dynamic Spectrum, abr. de 2010.
- [9]. MARSHALL, P.; Analogue switch-off and its implications, em Storage and Home Networks Seminar, 2004. The IEE, novembro de 2004, pp. 108-116.
- [10]. MITOLA, J.; Cognitive radio for exible mobile multimedia communications, em Proceeding of IEEE International Workshop on Mobile Multimedia Communications, novembro de 1999.
- [11]. OH, Ser Wah et al. (Org.). TV White Space: The First Step Towards. 1. ed. Hoboken, New Jersey: Wiley, 2016. 342 p. v. 1.
- [12]. Nascimento, M. F. S.; Evangelista, R. B.; Silva, C. F. M.; Cavalcanti, F. R. P.; Almeida, A. L. F.; Silva, Y. C. B. . TV White Spaces for Digital Inclusion in Brazil artigo White space Brasil.
- [13]. SUM, Chin-sean et al. Cognitive communication in tv white spaces: an overview of regulations, standards, and technology. *IEEE Communications Magazine*, [S.L.], v. 51, n. 7, p. 138-145, jan. 2015. Disponível em: <<http://ieeexplore.ieee.org/document/6553690/>>. Acesso em: 01 set. 2017.
- [14]. MACHADO, Marcelo Rocha; REZENDE, José Ferreira de; SILVA, Marcel William Rocha da. Banco de dados de disponibilidade de espectro para rádios cognitivos. 2013. 84 f. Curso de Engenharia da Computação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- [15]. LEKOMTCEV, Demian; MARŠÁLEK, Roman. Comparison of 802.11af and 802.22 standards – physical layer and cognitive functionality. *The Elektrotechnik Journal*, jun. 2012. Disponível em:

- <<http://www.elektrorevue.cz/en/articles/analogue-technics/0/comparison-of-802-11af-and-802-22-standards---physical-layer-and-cognitive-functionality/>>. Acesso em: 11 set. 2017.
- [16]. Transporte público no Brasil, disponível em <http://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2015-10/um-em-cada-quatro-brasileiros-usa-o-onibus-como-principal-meio-de-transporte>, acesso em set. de 2017.
- [17]. SAEED, Rashid A.; SHELLHAMMER, Stephen J. (Org.). *TV White Space Spectrum Technologies: Regulations, Standards, and Applications*. 1. ed. Broken Sound Parkway NW: CRC Press, 2012. 502 p. v. 1.
- [18]. COSTA, Lucas Dos S.; BOMFIN, Roberto C. D. V.; SOUZA, Dayan A. Guimarães E Rauley A. A. De. Desempenho de técnicas de fusão para sensoriamento espectral cooperativo sob sombreamento correlacionado. *Simpósio Brasileiro de Telecomunicações, Santarém, pa, v. XXXIV, p.111-222, ago. /set. 2016*.
- [19]. KARIMI, H. R.; Geolocation databases for white space devices in the UHF TV bands: specification of maximum permitted emission levels, disponível em *Proceedings of IEEE Symposium on New Frontiers in Dynamic Spectrum Access Networks*, Maio de 2011, pp. 443-454.
- [20]. S. Filin and T. Baykas, "Standard 802.19.1 for TV white space coexistence," *IEEE Communications Magazine*, vol. 54, no. 3, pp. 22–26, 2016.
- [21]. IEEE Std 802.19.1–2014, IEEE Standard for Information Technology: Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 19: TV White Space Coexistence Methods, pp. 1–326, June 2014.
- [22]. IEEE Std 802.22–2011, IEEE Standard for Information Technology: Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 22: Cognitive Wireless RAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Policies and Procedures for Operation in the TV Band, July 2011, pp. 1–680.
- [23]. C. R. Stevenson, G. Chouinard, Z. Lei, W. Hu, S. J. Shellhammer, W. Caldwell, IEEE 802.22: the first cognitive radio wireless regional area network standard. *IEEE Commun. Mag.*, 47 (1), 130–138 (2009).
- [24]. IEEE Std 802.11af-2013, IEEE Standard for Information technology: Telecommunications and Information Exchange Between Systems—Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements—Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications
- [25]. IEEE Std 802.15.4m-2014, IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks—Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)—Amendment 6: TV White Space Between 54 MHz and 862 MHz Physical Layer, April 2014, pp. 1–118.
- [26]. E. V. Chen, S. Das, L. Zhu, J. Malyar, P. McCann, Protocol to Access White-Space (PAWS) Databases draft-ietf-paws-protocol-20, IETF, Proposed Standard, November 2014. Disponível em [https:// datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-paws-protocol/](https://datatracker.ietf.org/doc/draft-ietf-paws-protocol/)
- [27]. RFC 7545: Protocol to Access White-Space (PAWS) Databases—Use Cases and Requirements, Internet Engineering Task Force (IETF).
- [28]. M. A. McHenry, P. A. Tenhula, D. McCloskey, D. A. Roberson, and C. S. Hood, "Chicago spectrum occupancy measurements & analysis and a long-term studies proposal," in *Proceedings of the first international workshop on Technology and policy for accessing spectrum*. ACM, 2006, p. 1.
- [29]. Y. Chen and H. S. Oh, "A survey of measurement-based spectrum occupancy modeling for cognitive radios," *IEEE Commun. Surveys Tuts.*, vol. 18, no. 1, pp. 848–859, 2016.
- [30]. J. Mitola III and G. Q. Maguire Jr., "Cognitive radio: making software radios more personal,"

- [31]. DYNAMIC SPECTRUM ALLIANCE. Suggested Technical Rules and Regulations for the Use of Television White Spaces. 1 ed. Bristol, United Kingdom, 2016. 54 p. Disponível em: <<http://dynamicspectrumalliance.org/regulations/>>. Acesso em: 28 nov. 2017.
- [32]. FEDERAL COMMUNICATIONS COMMISSION. 416721 D01: CERTIFICATION TEST PROCEDURES FOR WHITE SPACE DEVICES AUTHORIZED UNDER SUBPART H OF THE PART 15 RULES. 3 ed. Washington: Office of Engineering And Technology Laboratory Division, 2016. 10 p.
- [33]. TRANSMISSION SYSTEM FOR DIGITAL TERRESTRIAL TELEVISION BROADCASTING: ARIB STANDARD ARIB STD-B31 Version 1.6, pag 70
- [34]. Relatório do Teste em laboratório sobre a convivência do LTE na faixa de 700 MHz com ISDB-T (Anatel 04/2014).
- [35]. Recommendation ITU-R BT.1368-12: "Planning criteria, including protection ratios, for digital terrestrial television services in the VHF/UHF bands".
- [36]. Y. Chen and H. S. Oh, "A survey of measurement-based spectrum occupancy modeling for cognitive radios," IEEE Commun. Surveys Tuts., vol. 18, no. 1, pp. 848–859, Firstquarter 2016.
- [37]. FCC, Second Report and Order and Memorandum Opinion and Order: In the Matter of Unlicensed Operation in the TV Broadcast Bands, Doc. 08-260, Nov. 14, 2008.
- [38]. FCC, Second Memorandum Opinion and Order, Doc. 10-174, Sept. 23, 2010.
- [39]. FCC, Third Memorandum Opinion and Order, Doc. 12-36, Apr. 5, 2012.
- [40]. M. A. McHenry, P. A. Tenhula, D. McCloskey, D. A. Roberson, and C. S. Hood, "Chicago spectrum occupancy measurements & analysis and a long-term studies proposal," in Proceedings of the first international workshop on Technology and policy for accessing spectrum. ACM, 2006, p. 1.
- [41]. Anexo à Resolução nº 498, de 27 de março de 2008 – Norma para Certificação e Homologação de Transmissores e Retransmissores para o Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre.
- [42]. Anexo à Resolução nº 625, de 11 de novembro de 2013 - Aprova a Atribuição, a Destinação e o Regulamento sobre Condições de Uso de Radiofrequências na Faixa de 698 MHz a 806 MHz
- [43]. Norma ABNT 15604 – Televisão Digital Terrestre – Receptores
- [44]. Norma ABNT 15601 – Televisão Digital Terrestre – Sistema de Transmissão
- [45]. Relatório de Teste para Determinação da Relação de Proteção e Limiar de Bloqueio dos Receptores de Televisão Digital Terrestre ISDB-TB com a Introdução do Serviço Móvel na Faixa de 700 MHz. Laboratório de Pesquisas em TV Digital da Escola de Engenharia da Universidade Presbiteriana Mackenzie, de 04 de novembro de 2013.
- [46]. Report ITU-R BT.2035: "Guidelines and techniques for the evaluation of digital terrestrial television broadcasting systems".
- [47]. *Iconectiv White Space Data Base*, disponível em <https://www.iconectiv.com/>, acesso em novembro de 2017
- [48]. *Carlson Wireless*, disponível em <https://www.carlsonwireless.com/>, acesso em novembro de 2017
- [49]. White Space Alliance, disponível em <http://www.whitespacealliance.org/>, acesso em novembro de 2017

10. Anexo 1: Frequência dos canais de TV no Brasil

1.1. Frequência dos canais de TV no Brasil, na faixa de VHF:

| Canal VHF | Frequência (MHz) | Centro (MHz) | | Canal VHF | Frequência (MHz) | Centro (MHz) |
|-----------|-------------------|--------------|--|-----------|-------------------|--------------|
| 2 | 54 MHz a 60 MHz | 57 | | 8 | 180 MHz a 186 MHz | 183 |
| 3 | 60 MHz a 66 MHz | 63 | | 9 | 186 MHz a 192 MHz | 189 |
| 4 | 66 MHz a 72 MHz | 69 | | 10 | 192 MHz a 198 MHz | 195 |
| 5 | 76 MHz a 82 MHz | 79 | | 11 | 198 MHz a 204 MHz | 201 |
| 6 | 82 MHz a 88 MHz | 85 | | 12 | 204 MHz a 210 MHz | 207 |
| 7 | 174 MHz a 180 MHz | 177 | | 13 | 210 MHz a 216 MHz | 213 |

1.2. Frequência dos canais de TV no Brasil, na faixa de UHF:

| Canal UHF | Frequência (MHz) | Centro (MHz) | | Canal UHF | Frequência (MHz) | Centro (MHz) |
|-----------|-------------------|--------------|--|-----------|-------------------|--------------|
| 14 | 470 MHz a 476 MHz | 473 | | 33 | 584 MHz a 590 MHz | 587 |
| 15 | 476 MHz a 482 MHz | 479 | | 34 | 590 MHz a 596 MHz | 593 |
| 16 | 482 MHz a 488 MHz | 485 | | 35 | 596 MHz a 602 MHz | 599 |
| 17 | 488 MHz a 494 MHz | 491 | | 36 | 602 MHz a 608 MHz | 605 |
| 18 | 494 MHz a 500 MHz | 497 | | 37 | 608 MHz a 614 MHz | 611 |
| 19 | 500 MHz a 506 MHz | 503 | | 38 | 614 MHz a 620 MHz | 617 |
| 20 | 506 MHz a 512 MHz | 509 | | 39 | 620 MHz a 626 MHz | 623 |
| 21 | 512 MHz a 518 MHz | 515 | | 40 | 626 MHz a 632 MHz | 629 |
| 22 | 518 MHz a 524 MHz | 521 | | | 632 MHz a 638 MHz | 635 |
| 23 | 524 MHz a 530 MHz | 527 | | 42 | 638 MHz a 644 MHz | 641 |
| 24 | 530 MHz a 536 MHz | 533 | | 43 | 644 MHz a 650 MHz | 647 |
| 25 | 536 MHz a 542 MHz | 539 | | 44 | 650 MHz a 656 MHz | 653 |
| 26 | 542 MHz a 548 MHz | 545 | | 45 | 656 MHz a 662 MHz | 659 |
| 27 | 548 MHz a 554 MHz | 551 | | 46 | 662 MHz a 668 MHz | 665 |
| 28 | 554 MHz a 560 MHz | 557 | | 47 | 668 MHz a 674 MHz | 671 |
| 29 | 560 MHz a 566 MHz | 563 | | 48 | 674 MHz a 680 MHz | 677 |
| 30 | 566 MHz a 572 MHz | 569 | | 49 | 680 MHz a 686 MHz | 683 |
| 31 | 572 MHz a 578 MHz | 575 | | 50 | 686 MHz a 692 MHz | 689 |
| 32 | 578 MHz a 584 MHz | 581 | | 51 | 692 MHz a 698 MHz | 695 |