



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**HENRIQUE STHÉFANO SANTOS SANTOS
ROBERTA GOMES PACHECO**

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PREDIÇÃO E MEDIDAS REAIS DE
COBERTURA DE SINAL DE TV DIGITAL EM MACAPÁ/AP**

**MACAPÁ
2020**

HENRIQUE STHÉFANO SANTOS SANTOS
ROBERTA GOMES PACHECO

**ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PREDIÇÃO E MEDIDAS REAIS DE
COBERTURA DE SINAL DE TV DIGITAL EM MACAPÁ/AP**

Trabalho de Conclusão de Curso para
obtenção do grau de Engenheiro
Eletricista apresentado ao Curso de
Engenharia Elétrica da Universidade
Federal do Amapá.

Orientadora: Prof.^a Dra. Fernanda
Regina Smith Neves Corrêa.

Coorientador: Edward Aires da Silva

MACAPÁ
2020

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Biblioteca Central da Universidade Federal do Amapá
Elaborada por Cristina Fernandes – CRB-2/1569

Santos, Henrique Sthéfano Santos.

Análise comparativa entre predição e medidas reais de cobertura de sinal de tv digital em Macapá/AP / Henrique Sthéfano Santos Santos, Roberta Gomes Pacheco; orientadora, Fernanda Regina Smith Neves Corrêa; coorientador, Edward Aires da Silva. – Macapá, 2020.

70 f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Fundação Universidade Federal do Amapá, Coordenação do Curso de Bacharelado em Engenharia Elétrica.

1. Televisão digital. 2. Agência Nacional de Telecomunicações (Brasil). 3. TV Equinócio (AP). I. Pacheco, Roberta Gomes. II. Corrêa, Fernanda Regina Smith Neves, orientadora. III. Silva, Edward Aires da, coorientador. IV. Fundação Universidade Federal do Amapá. IV. Título.

621.3 S237a

CDD: 22ed.



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAPÁ
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
COORDENAÇÃO DO CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

ATA DE DEFESA DE TCC

Às 10:45 horas do dia 03 de fevereiro de 2020, nas dependências da Universidade Federal do Amapá, reuniu-se a Banca Examinadora para defesa de TCC 2 intitulado “ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE PREDIÇÃO E MEDIDAS REAIS DE COBERTURA DE SINAL DE TV DIGITAL EM MACAPÁ/AP” de autoria dos alunos HENRIQUE STHÉFANO SANTOS SANTOS e ROBERTA GOMES PACHECO regularmente matriculados no Curso de Engenharia Elétrica desta universidade. A banca Examinadora foi assim constituída: Prof^ª. Dra. Fernanda Regina Smith Neves Corrêa, Presidente da Banca e Orientadora, Eng. Eletr. Esp. Edward Aires da Silva, Coorientador, Prof. Esp. Hugo Pinheiro da Silva e Prof. Dr. Helyelson Paredes Moura, como examinadores. Concluída a defesa, foram realizadas as arguições e comentários. Em seguida procedeu-se o julgamento pelos membros da Banca Examinadora, tendo o projeto sido (APROVADO/REPROVADO) APROVADO, com NOTA (0 a 10 pts) 9,65. E, para constar, eu, Prof^ª. Dra. Fernanda Regina Smith Neves Corrêa, presidente da Banca Examinadora, lavrei a presente ata que, após lida e achada conforme, foi assinada por mim e demais membros da Banca Examinadora.

Macapá (AP), 03 de fevereiro de 2020.

Prof^ª. Dra. Fernanda Regina Smith Neves Corrêa
Presidente

Eng. Eletr. Esp. Edward Aires da Silva
Membro

Prof. Esp. Hugo Pinheiro da Silva
Membro

Prof. Dr. Helyelson Paredes Moura
Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Deus pela vida e por me dar forças para concluir a jornada acadêmica.

Aos meus pais, principalmente minha mãe que sempre esteve comigo em todas as situações, nos momentos altos e baixos da universidade e da vida.

Aos meus melhores amigos, pela ajuda e pela amizade.

Ao Departamento de Expansão da Distribuição – DEE da Companhia de Eletricidade do Amapá - CEA, pelo conhecimento adquirido durante o período de estágio.

Agradeço também às demais pessoas que fazem parte da minha vida e que, de alguma forma, contribuíram para a conclusão do curso.

Henrique Sthéfano Santos Santos.

Agradeço ao meu pai Roberto por me encorajar a fazer o curso de engenharia elétrica. À minha mãe Letícia por me incentivar a ter forças para terminar minha graduação. E à minha irmã Renata pelo apoio diário.

Agradeço ao meu companheiro de vida Felipe por ter dividido comigo as angústias e os momentos felizes que passei dentro da universidade.

Agradeço aos meus melhores amigos, aqueles que me ajudaram direta ou indiretamente para a conclusão desta fase em minha vida.

Agradeço, por fim, à Deus que foi generoso comigo nessa jornada e que a cada dia me ilumina e me guia para ir em busca dos meus sonhos.

Roberta Gomes Pacheco.

RESUMO

A chegada da televisão digital (TVD) veio acompanhada de um grande desafio na sua implantação: a dificuldade em assegurar o serviço em toda a área que as emissoras analógicas atendiam. Devido a isso, as entidades de televisão objetivam cumprir com os requisitos legais as de suas transmissões, bem como a Agência Nacional de Telecomunicações (Anatel), na qual exerce o papel de fiscalizar o atendimento da maior parte da localidade onde se encontra a estação transmissora. Justificado pela importância social que a TV desempenha na sociedade brasileira, este trabalho objetiva realizar uma análise comparativa entre medidas reais de campo da área de cobertura da emissora TV Equinócio, filiada da Rede Record em Macapá-AP, com predições de cobertura obtidas por meio de um *software* e um modelo matemático. Para gerar as predições foi empregado o modelo de propagação da Recomendação ITU-R P.1546-5 descrito no passo a passo do ANEXO A, além do *software* ICS Telecom, que se trata de uma ferramenta da Anatel voltada aos serviços de radiodifusão. Dessa forma, com o auxílio de um analisador de espectro e uma antena, foi possível coletar os valores reais de potência, em $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, do sinal transmitido em diversos pontos da área urbana do município e de alguns pontos mais distantes. Os resultados apresentados mostram que as predições do *software* e do modelo possuem o mesmo comportamento que o verificado em campo, apresentando resultados satisfatórios e comprovando a eficácia desses modelos, além da confiabilidade de *softwares* e programas destinados a predição de cobertura de TV Digital, como também de outras aplicações em Telecomunicações.

Palavras-chave: Televisão Digital. ITU-R P.1546-5. Anatel. ICS Telecom.

ABSTRACT

The arrival of digital television (TVD) was accompanied by a major challenge in its implementation: the difficulty of guaranteeing service in an entire area that analogue broadcasters served. Because of this, the television entities aim to comply with the legal requirements of their transmissions, as well as the National Telecommunications Agency (Anatel), in which it exercises the role of supervising the service of most of the location where the transmitting station is located. Justified by the social importance that TV plays in Brazilian society, this work aims to carry out a comparative analysis between real field measurements of the coverage area of TV Equinócio, affiliated with Rede Record in Macapá-AP, with coverage predictions obtained through a software and a mathematical model. To generate as predictions, an ITU-R P.1546-5 propagation model was used, described in the step by step of ANNEX A, in addition to the ICS Telecom software, which deals with an Anatel tool aimed at broadcasting services. Thus, with the aid of a spectrum analyzer and an antenna, it was possible to collect the real power values, in dB μ V/m, of the signal transmitted in several points in the urban area of the municipality and in some more distant points. The results presented show that the predictions, of the software and of the model, have the same behavior as that verified in the field, presenting satisfactory results and proving the effectiveness of these models, in addition to the reliability of software and programs designed to predict coverage of Digital TV, as well as other applications in Telecommunications.

Keywords: Digital Television. ITU-R P.1546-5. Anatel. ICS Telecom.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Tubo de vidro de uma TV de tubo	10
Figura 2 – SEMP 1951	11
Figura 3 – Imagem da transmissão da Festa da Uva de Caxias	12
Figura 4 – Onda plana em dois meios	20
Figura 5 – (a) Onda Portadora (b) Onda Modulante	23
Figura 6 – Sistema de Transmissão por Radiodifusão	24
Figura 7 – Sinal de Mensagem: cosseno de amplitude 5 e frequência de 10Hz	28
Figura 8 – Amostragem do Sinal	29
Figura 9 – Amostragem Natural	30
Figura 10 – Quantização do sinal	31
Figura 11 – (a) Quantizador midtred (b) Quantizador midrise	31
Figura 12 – (a) Sinal quantizado (b) Sinal codificado	32
Figura 13 – Produção de conteúdo da TV Digital	33
Figura 14 – Processo de varredura de linha entrelaçado	34
Figura 15 – Diagrama de sinais da TV Digital	35
Figura 16 – Curva de intensidade de campo da Recomendação ITU-R P.1546-5 ...	41
Figura 17 – Parâmetros inseridos no <i>software</i>	44
Figura 18 – Diagrama Horizontal da Antena	45
Figura 19 – Diagrama Vertical da Antena	45
Figura 20 – Diagramas inseridos no <i>software</i>	46
Figura 21 – Modelo selecionado	46
Figura 22 – Veículo com antena	47
Figura 23 – Disposição dos equipamentos no veículo	47
Figura 24 – Diagrama Esquemático da ETM	48
Figura 25 – Rota concluída no período matutino	49
Figura 26 – Rota concluída no período vespertino	49
Figura 27 – Predição de cobertura feita pelo <i>software</i>	50
Figura 28 – Mancha e legenda	51
Figura 29 – Mancha próxima a emissora	51
Figura 30 – Localização dos pontos selecionados	52

Figura 31 – Comparativo entre predição do <i>software</i> e predição ITU	55
Figura 32 – Comparativo entre predição do <i>software</i> e medidas de campo.....	56
Figura 33 – Comparativo entre predição ITU e medidas de campo	57
Figura 34 – Comparativo entre as três curvas analisadas.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Canalização das faixas analógicas de VHF e UHF	27
Tabela 2 – Canalização para TV Digital na faixa de VHF	37
Tabela 3 – Canalização para TV Digital na faixa de UHF	38
Tabela 4 – Parâmetros da Antena Transmissora.....	43
Tabela 5 – Dados de nível de potência obtidos	53
Tabela 6 – Valores de erro médio e desvio padrão para gráfico de predição do <i>software</i> e predição ITU	55
Tabela 7 – Valores de erro médio e desvio padrão para gráfico de predição do <i>software</i> e medidas de campo.....	56
Tabela 8 – Valores de erro médio e desvio padrão para gráfico de predição ITU e medidas de campo	57
Tabela 9 – Lista de parâmetros de entrada e seus limites.....	64
Tabela 10 – Valores de distância (km) utilizados nas tabelas de intensidade de campo elétrico	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Abert	Associação Brasileira das Emissoras de Rádio e TV
ACATS	Advisory Committee on Advanced Television
AM	Amplitude Modulation
Anatel	Agência Nacional de Telecomunicações
ATSC	Advanced Television Systems Committee
BTS	Broadcasting Transport Stream
Contel	Conselho Nacional de Telecomunicações
DVB	Digital Video Broadcasting
Embratel	Empresa Brasileira de Telecomunicações
ERP	Effective Radiated Power
ETM	Estação Transportável de Monitoração do Espectro
EUA	Estados Unidos da América
FDM	Frequency Division Multiplexing
FM	Frequency Modulation
HD-MAC	High Definition - Multiplexed Analogue Components
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting
ISDB-T	Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial
ITU-R	International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector
LTDA	Limitada
MAC	Multiplexed Analogue Components
MPEG	Moving Picture Experts Group
MUSE	Multiple Sub-Nyquist Sample Encoding
NTSC	National Television System Committee
OFDM	Orthogonal Frequency Division Multiplexing

PAL	Phase Alternating Line
PM	Phase Modulation
RF	Radiofrequência
RMA	Radio Manufacturers Association
S.A	Sociedade Anônima
SBT	Sistema Brasileiro de Televisão
SBTVD-T	Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre
SDI	Serial Digital Interface
SECAN	Sequential Couleur Avec Memoire
SEMP	Sociedade Eletromercantil Paulista
Telebrás	Telecomunicações Brasileiras AS
TS	Transport Stream
TV	Televisão
TVD	Televisão Digital
UHF	Ultra High Frequency
VHF	Very High Frequency

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	7
2 HISTÓRICO DA TV	9
2.1 A TV Analógica no Brasil	10
2.2 A TV Digital no Brasil	12
3 PROPAGAÇÃO DE ONDAS	15
3.1 Leis de Maxwell	16
3.2 Reflexão	18
4 TV ANALÓGICA	22
5 TV DIGITAL	28
5.1 Amostragem	28
5.2 Quantização.....	30
5.3 Codificação	32
5.4 Transmissão	33
5.5 Modulação OFDM.....	36
6 MODELOS MATEMÁTICOS DE PREDIÇÃO	39
6.1 Modelo ITU-R P.1546-5.....	39
6.1.1 Variabilidade Local	39
6.1.2 Variabilidade Temporal.....	40
7 ICS TELECOM.....	42
8 METODOLOGIA	43
9 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	50
10 CONCLUSÃO	60
REFERÊNCIAS.....	61
ANEXO A – Procedimento para aplicação da Recomendação ITU-R P.1546-5..	64
ANEXO B – Tabela de distribuição de t-Student segundo os graus de liberdade e uma dada probabilidade num teste bicaudal.....	70

1 INTRODUÇÃO

A TV (televisão) é um dos mais importantes meios de comunicação na atualidade, se destacando pela penetração e importância social, principalmente se levarmos em conta a realidade brasileira. Em um país com as dimensões geográficas do Brasil, o sistema televisivo tem o papel de unificar cada região, além de levar informação, entretenimento e, ainda, atuar como formadora de opinião em relação ao cenário político (BORBA, 2012).

Ao longo do tempo, algumas melhorias foram aperfeiçoando cada vez mais a experiência de assistir à televisão, dentre elas faz-se necessário ressaltar o desenvolvimento da TV em cores. Devido a constante busca por melhor qualidade de áudio e vídeo, as indústrias da informação audiovisual se direcionavam para uma mudança dos equipamentos analógicos para os digitais (LOPES, 2007). Na década de 1980, as tecnologias televisivas convergiam para a concepção de televisão em alta definição, levando países a criarem suas próprias tecnologias digitais. Entre eles, destacam-se os Estados Unidos, com o ATSC (*Advanced Television Systems Committee*), a Europa, com o DVB (*Digital Video Broadcasting*) e o Japão, com o sistema ISDB (*Integrated Service Digital Broadcasting*). Segundo Lopes (2007), em razão do progresso desses países, o Brasil decidiu concentrar estudos e tecnologias para a pesquisa nesta área, sob a justificativa da grande difusão da TV no cenário brasileiro. Porém, em 2006, foi instituído o padrão japonês como o modelo a ser implantado no país, com o argumento de que este atendia às necessidades do mercado brasileiro, além do preço e da qualidade tecnológica (LOPES, 2007).

Entretanto, a TVD surgiu com um propósito maior do que apenas alta definição de imagem. Ela, também, possibilitou avanços como a multiprogramação, aumento do número de canais dentro da mesma largura de faixa de 6MHz e serviços, entre eles a mobilidade e interatividade (LOPES, 2007). Em razão disso, permitiu-se que as pessoas tivessem acesso a uma imagem de alta resolução, revolucionando a forma como a TV é assistida.

Diante de tamanha tecnologia e melhorias, uma das principais preocupações, no que diz respeito à implantação do sistema digital na radiodifusão de som e imagem, é o bom dimensionamento do projeto, utilizando métodos e ferramentas precisas em busca da garantia do alto desempenho na transmissão. Da mesma maneira, busca-se a garantia de que todos os receptores, que estejam

dentro da área projetada para ser atendida, estejam recebendo o sinal de TVD (SILVA, 2015).

O planejamento dessa cobertura é feito em cima de previsões computacionais, tornando importante determinar o quanto essas previsões são precisas comparando-as com a cobertura efetivamente medida (BORBA, 2012). Com base nisso, este trabalho é direcionado à relevância social que a TV desempenha na sociedade, buscando apresentar os benefícios da tecnologia digital. Nesse contexto, propõe-se avaliar a cobertura da emissora TV Equinócio Comunicações LTDA, por meio de uma previsão comparada com dados medidos em campo. A fim de gerar esta previsão, foi utilizado o resultado numérico da modelagem matemática de propagação de sinal proposta pela recomendação da ITU-R P1546-5 (ITU-R, 2013).

Este será associado à previsão fornecida pelo *software* ICS Telecom, ferramenta utilizada para o planejamento da utilização do espectro, incluindo a infraestrutura necessária para projeção, otimização e aperfeiçoamento de redes de rádio ou micro-ondas, com o intuito de melhorar a precisão dos resultados, além de avaliar o desempenho desse *software* na geração de previsões confiáveis para projetos de implantação de TVD.

A metodologia adotada neste trabalho é de natureza descritiva, onde se pretende avaliar dados quantitativos. A pesquisa de campo para aquisição dos valores reais do sinal emitido foi executada na região urbana do município de Macapá-AP. Esta consistiu na aferição dos valores de potência recebida do sinal de TVD.

Pensando nisso, empresas privadas e públicas têm interesse em conhecer a área de cobertura de suas transmissões. Existem, ainda, na relação entre as empresas e os telespectadores, os órgãos regulatórios que têm como função fiscalizar a oferta do serviço de TVD em determinada área.

Desta forma, esta pesquisa justifica-se pelo objetivo de checar se os telespectadores têm acesso a transmissão, bem como comparar os níveis de sinal obtidos por meio da pesquisa de campo com aqueles preditos anteriormente por *software*.

2 HISTÓRICO DA TV

A televisão se destaca como uma das contribuições mais importantes do século XX, tornando-se um dos principais meios de comunicação de troca de informação em todo o mundo. Em muitos aspectos o desenvolvimento da televisão foi o precursor de novas tecnologias, como semicondutores e computadores (CORRÊA, 2011). Este meio de comunicação se tornou realidade a partir de avanços científicos e tecnológicos nas áreas de eletricidade e de eletromagnetismo, principalmente devido aos estudos com a finalidade de analisar as características do selênio, elemento químico que emite elétrons ao ser exposto à luz. Assim, houve a possibilidade de transmitir uma imagem através das capacidades fotoelétricas do selênio com melhor qualidade (SÁ, 2012).

Na segunda metade do século XIX, as primeiras transmissões de imagem não dispunham de boa definição. Somente após o advento do tubo de raios catódicos, também chamado de cinescópio, como pode ser visto na Figura 1, foi aprimorada a qualidade da definição das imagens. A emissão dos elétrons passou a ser feita de forma ordenada em linhas, logo, quanto mais linhas se tinham, melhor era a definição das imagens transmitidas (SÁ, 2012). De acordo com Corrêa (2011), a definição de imagem era de aproximadamente 440 linhas por imagem, por exemplo, 441 linhas na Alemanha e França e 405 linhas na Inglaterra. Essas configurações de linhas foram utilizadas nas primeiras transmissões de TV que se tinha na época de 1930.

Outro importante avanço relacionado ao desenvolvimento da TV, foi a chegada da TV com cores. As primeiras transmissões regulares em cores ocorreram em 1954 nos Estados Unidos da América (EUA), utilizando o padrão NTSC (*Nacional Television System Comittee*), na qual este deu origem aos sistemas de televisão a cores (CORRÊA, 2011). As transmissões regulares de televisão a cores nos EUA iniciaram em janeiro de 1954. Logo após os primeiros anos de transmissão comercial de TV a cores nos EUA, iniciaram-se na Europa estudos que visavam resolver ou melhorar alguns problemas de desempenho que o sistema NTSC apresentava em determinadas condições.

A partir disso, resultaram duas propostas que originaram novos sistemas, o SECAN (*Sequential Couleur Avec Memoire*) e o PAL (*Phase Alternating Line*). Este último foi desenvolvido na Alemanha e adotado pela mesma em 1967. O PAL surgiu

como uma variante do NTSC e foi implantado pela maioria dos países que decidiram iniciar a transmissão de TV a cores, inclusive pelo Brasil em 1972 (CORRÊA, 2011).

Figura 1 – Tubo de vidro de uma TV de tubo.



Fonte: Mundo Educação.¹

2.1 A TV Analógica no Brasil

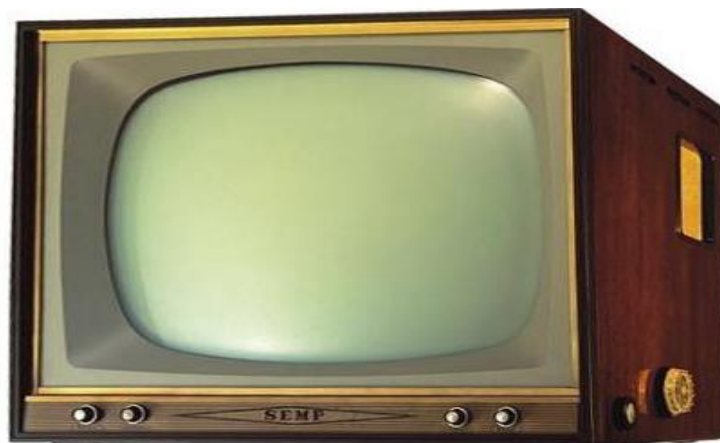
Para Sá (2012), a TV iniciou seu processo de difusão pelo mundo em 1930, começando pelos EUA e em meados do século XX já se tornava realidade a TV em cores. No ano de 1950, a televisão era oficialmente inaugurada no Brasil, contudo, segundo Mattos (2002) em 1939, na Feira de Amostras do Rio de Janeiro, uma plateia privilegiada pôde assistir Marília Baptista, Francisco Alves, Herivelto Martins, Dalva de Oliveira e outros artistas através de um equipamento parecido com uma eletrola, porém com um quadro de vidro fosco, portanto, aquela seria a primeira aparição pública da TV no Brasil.

Os equipamentos que deram início a primeira emissora de TV no país chegaram em fevereiro de 1949, adquiridos pela figura política de Assis Chateaubriand, participaram da criação da antiga TV Tupi em São Paulo no ano de 1950. No mesmo ano inaugurava-se a TV Tupi no Rio de Janeiro, e no ano seguinte, 1951, deu início a fabricação de aparelhos de televisão no Brasil (SANTOS; LUZ,

¹ Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/fisica/imagem-no-tubo-tv.htm>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

2013). A Figura 2 mostra um dos primeiros televisores fabricados no país, da marca SEMP (Sociedade Eletromercantil Paulista).

Figura 2 – SEMP 1951.



Fonte: Veja São Paulo.²

Diferente da TV norte-americana, que teve sua ampliação apoiada na indústria do cinema, a brasileira teve que se sujeitar ao domínio da rádio, inicialmente fazendo uso de sua estrutura, seu formato de programação, e até mesmo de seus técnicos e artistas (MATTOS, 2002).

Conforme Santos e Luz (2013), em maio de 1961 o Contel (Conselho Nacional de Telecomunicações) foi instituído. Em agosto de 1962, este aprova o Código Brasileiro de Telecomunicações, e em novembro do mesmo ano foi estabelecida a Abert (Associação Brasileira das Emissoras de Rádio e TV) com a finalidade de defender os direitos dos donos de emissoras de rádio e TV do Brasil. Em abril de 1965 é instituída a TV Globo no Rio de Janeiro, mesmo ano em que foi criada a Embratel (Empresa Brasileira de Telecomunicações) estreando as transmissões via satélite.

O ano de 1967 foi marcado pela criação do Ministério das Comunicações. Já em 1972, acontece a primeira transmissão a cores, via Embratel, com a festa da Uva de Caxias, Rio Grande do Sul, para todo o país (CORRÊA, 2011). A Figura 3 mostra a imagem da festa com transmissão totalmente a cores. No ano seguinte, é instaurada a Telebrás (Telecomunicações Brasileira S.A) empresa encarregada do

² Disponível em: <<https://vejasp.abril.com.br/blog/memoria/dez-marcas-de-tvs-de-antigamente/>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

serviço público de telecomunicações. A Câmara Federal, em julho de 1997, aprova a Lei Geral das Telecomunicações, Lei nº 9.472, que trata da organização dos serviços de telecomunicação, regulamentando as atribuições da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) (SANTOS; LUZ, 2013).

Figura 3 – Imagem da transmissão da Festa da Uva de Caxias.



Fonte: Alexandre Figueiredo.³

No final de 2001, a TV aberta brasileira conta com seis grandes redes estruturadas por um total de 348 geradoras operando no país, sendo a Rede Globo a maior, com 113 geradoras, seguida do SBT com 91 (MATTOS, 2002). Este histórico da chegada e regulamentação da televisão no Brasil foi acontecendo na época da transmissão de televisão analógica. A partir dos avanços tecnológicos surge a chamada TV Digital, que utiliza sinais digitais em sua transmissão, dando início a outro período na história da TV brasileira.

2.2 A TV Digital no Brasil

O processo para obtenção de um novo modelo de transmissão em alta definição de TV iniciou em pesquisas japonesa, com resultados apresentados na década de 1980 que trouxe um sistema de sinal analógico com maior número de linhas, além de transmissão de som de alta qualidade. Esses benefícios foram

³ Disponível em: <<http://cincomeiasete.blogspot.com/2012/02/primeira-transmissao-de-tv-cores-no.html>>. Acesso em: 03 jun. 2019.

primeiramente utilizados para elaboração de um padrão de produção em estúdio pensando em futuramente derivar um modelo de transmissão, sendo o primeiro a entrar em operação comercial com o nome MUSE (*Multiple Sub-Nyquist Sampling Encoding*). (FERNANDES et al, 2004)

Importante, também, citar os esforços para desenvolvimento do sinal de alta definição realizados na Europa, principalmente pelo projeto EUREKA no ano de 1986, dando origem ao padrão MAC (*Multiplexed Analog Components*) e posteriormente uma versão com maior resolução chamada de HD-MAC. (FERNANDES et al, 2004).

Com esses esforços já sendo realizados em outras frentes e com os avanços tecnológicos por eles obtidos, os EUA, por meio da criação de um comitê denominado ACATS (*Advisory Committee on Advanced Television*), resolveram desenvolver um sistema totalmente digital chamado de DTV, descartando ainda uma série de propostas por não satisfazerem os requisitos. Em 1993, algumas empresas se reuniram na “Grande Aliança” e definiram um padrão para a compressão de vídeo, intitulado MPEG-2, que foi fundamental para o crescimento desta tecnologia (FERNANDES et al, 2004).

No ano de 1997, os pesquisadores japoneses tomaram a decisão de desenvolver um sistema digital puro, conhecido como ISDB com início da sua utilização por meio de satélite no ano de 2000.

No Brasil, a decisão da escolha do padrão japonês ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial*) de TV digital foi realizada pelo então presidente da República do Brasil em 26 de julho de 2006, por meio do Decreto nº 5820, apoiado pela análise realizada pelo comitê de desenvolvimento do Sistema Brasileiro de Televisão Digital Terrestre (SBTVD-T) que efetuou um estudo técnico e econômico de viabilidade da tecnologia (FILHO, 2007). A primeira transmissão digital oficial foi realizada em 2 de dezembro de 2007 na cidade de São Paulo.

O modelo de transmissão digital no Brasil foi além de um processo tecnológico, gerou novas necessidades na população brasileira, ampliando o conceito da televisão como era conhecida, e ainda trazendo a imperatividade de melhora na qualidade da produção dos programas, mostrando-se como desafio aos produtores de conteúdo (SETTE, 2010).

Sette (2010), também afirma que outro aspecto fundamental a ser descrito é do aumento do papel da televisão como ferramenta para inclusão social e para

exercício da cidadania, que esbarrou na necessidade de instrumentos que fossem capazes de converter o sinal em imagem, o que indicou a princípio uma preocupação com os custos envolvidos, preocupando as autoridades com a impossibilidade de pessoas de menor poder aquisitivo em ter acesso a nova tecnologia.

O sinal digital no Brasil trouxe, ainda, a possibilidade de interatividade, que foi encarado como uma evolução, que permitiria o uso da televisão como ferramenta na educação à distância, potencializando o entretenimento e o jornalismo e abrindo um leque de possibilidades de oferta de novos serviços. Porém, também, trouxe preocupações, à medida que poderia ser utilizada como uma ameaça à intimidade, além de possivelmente causar aumento no consumo de bens e jogos de azar (PICCIONI; BECKER; MONTEZ, 2005).

No Amapá, a primeira emissora a adotar esta tecnologia foi a TV Amapá, afiliada da rede globo que, em 12 de junho de 2012, iniciou a transmissão de sinal de TV digital que segundo a emissora, além da capital Macapá, atingiria os municípios de Santana e Mazagão. Já em 21 de setembro de 2013, a TV equinócio, afiliada da Record TV iniciou sua transmissão de programas locais e nacionais em formato digital. Em 25 de fevereiro de 2014, a afiliada do SBT, TV Amazônia, adotou, também, esta tecnologia. Dois dias antes do desligamento em sinal analógico, em 12 de agosto de 2018, a TV cultura adotou ao novo formato.

Desde então, vem-se progressivamente adotando o sinal digital nas transmissões de TV permitindo uma série de outros avanços técnicos. Entretanto, a adoção dessa tecnologia trouxe alguns problemas como a incapacidade dos aparelhos analógicos de TV (as chamadas TV de tubo) de receber o sinal digital. Sendo assim, houveram diversas políticas governamentais, como a entrega de *kits* com conversores de sinal digital e antenas UHF gratuitamente para pessoas com renda baixa cadastradas em programas sociais do governo. Incluindo, também, um acordo com os fabricantes de TV para popularização e barateamento de aparelhos com recepção digital e campanhas de divulgação. Em 2019, o sinal analógico foi desativado nas grandes cidades, trazendo benefícios na qualidade do serviço e indicando uma maior possibilidade de inovações.

3 PROPAGAÇÃO DE ONDAS

De acordo com Sadiku (2004), as ondas são meios de transporte de energia ou de informação. Elas, através de suas propriedades ondulatórias, viajam a partir de uma fonte no espaço livre, em meios dielétricos ou em bons condutores. Chamadas de ondas eletromagnéticas, estas são usadas em transmissões televisivas, radares, entre outros. Dessa forma, o estudo da propagação do sinal pelo fenômeno eletromagnético se faz necessário pois é por meio destas que podemos assistir TV. Portanto, Maxwell sintetizou equações para propagação de ondas eletromagnéticas para explicar a suas características (SADIKU, 2004).

Primeiramente, conceitua-se onda como uma função que varia no espaço e no tempo, transporta informação ou energia (SADIKU, 2004). No caso das ondas eletromagnéticas, os campos elétricos (E) e magnéticos (H) se associam e originam o vetor de Poynting, mostrado na fórmula a seguir:

$$S = \mathbf{E} \times \mathbf{H} \quad (\text{W/m}^2) \quad (1)$$

Onde:

E = Intensidade de campo elétrico (V/m);

H = Intensidade de campo magnético (A/m).

Conforme Martins e Neves (2015), representa a densidade de potência transmitida numa direção perpendicular entre os dois campos.

Segundo a recomendação da ITU-R P.1546-5 (2013), a propagação das ondas de radiodifusão sofre variação ao longo do caminho que é percorrido. Devido a isso, a propagação ocorre em um meio com perdas (SADIKU, 2004).

A propagação de ondas deve ser modelada para verificar o desempenho de sistemas que dependem da propagação de ondas eletromagnéticas. Com isso, para o planejamento de uma rede de comunicação, é necessário fazer a modelagem do canal para prever a intensidade do sinal que chegará ao receptor. Além disso, deve-se prever se o sinal chegará com qualidade para que o receptor consiga fazer a decodificação e, assim, mostrar a informação (SEYBOLD, 2005).

No espaço livre, as ondas são modeladas para serem propagadas em todas direções, resultando em uma onda esférica, chamada de radiador isotrópico, mas, na prática, não existe. À medida que a onda propagada se distancia de sua fonte, ela vai tomando forma planar sobre a área de interesse. Além disso, para que isso seja considerado, é necessário levar em consideração a curvatura da terra, pois ela vai ser o limite fundamental de propagação (SEYBOND, 2005).

Existem vários meios de propagação de ondas e elas são variadas consideravelmente pela frequência, podendo ser VHF ou UHF. Ao serem propagadas, as ondas podem sofrer efeitos como difração, refração e caminhos múltiplos. A difração é o fenômeno em que a intensidade do sinal sobra na sua borda ao incidir em um bloqueio, podendo criar regiões como menos intensidade. A refração é a curvatura que as ondas eletromagnéticas fazem devido a não uniformidade do meio que ela está sendo propagada. Já os caminhos múltiplos é resultado da reflexão das ondas ao incidir em uma superfície (SEYBOLD, 2005).

Os efeitos de propagação se caracterizam como ondas do céu, ondas no solo e troposféricas. As ondas do céu dizem a respeito da reflexão e refração. As ondas do solo incluem as ondas na superfície. E as ondas troposféricas, a mais importante dos efeitos, são as que se propagam e permanecem na atmosfera. Ela é a parte mais baixa da atmosfera, compreendendo os primeiros 10 km (SEYBOLD, 2005).

Esses efeitos variam com a altitude, a localização geográfica e a condição climática. Além disso, eles podem permitir a comunicação além do horizonte ou produzir um bloqueio e difração no terreno (SEYBOLD, 2005).

3.1 Leis de Maxwell

A partir das equações de Maxwell que se representa matematicamente dos fenômenos elétricos e magnéticos. Através de diversas manipulações matemáticas, Maxwell obteve suas equações (SADIKU, 2004). São elas:

$$\nabla \cdot \mathbf{D} = \rho_v \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{B} = 0 \quad (3)$$

$$\nabla \times \mathbf{E} = -\frac{\partial \mathbf{B}}{\partial t} \quad (4)$$

$$\nabla \times \mathbf{H} = \mathbf{J} + \frac{\partial \mathbf{D}}{\partial t} \quad (5)$$

Onde:

\mathbf{D} = densidade de fluxo elétrico (C/m²);

ρ_v = densidade volumétrica de carga (C/m³);

\mathbf{B} = densidade de fluxo magnético (Wb/m²);

\mathbf{E} = intensidade de campo elétrico (V/m);

\mathbf{H} = intensidade de campo magnético (A/m);

\mathbf{J} = densidade de corrente (A/m²).

A essência das equações de Maxwell é que um campo elétrico variante no tempo produz um campo magnético e vice-versa. Além disso, um campo magnético variável no tempo também pode ser gerado por uma carga acelerada.

Como o meio de propagação das ondas de radiodifusão é com perdas, utilizam-se as fórmulas de Maxwell adaptadas para esta particularidade (SADIKU, 2004). São elas:

$$\nabla \cdot \mathbf{E}_s = 0 \quad (6)$$

$$\nabla \times \mathbf{E}_s = -j\omega\mu\mathbf{H}_s \quad (7)$$

$$\nabla \cdot \mathbf{H}_s = 0 \quad (8)$$

$$\nabla \times \mathbf{H}_s = (\sigma + j\omega\varepsilon)\mathbf{E}_s \quad (9)$$

Onde:

\mathbf{E}_s = fasor de densidade de campo elétrico (V/m);

\mathbf{H}_s = fasor de densidade de campo magnético (A/m);

ω = frequência angular;

μ = permeabilidade magnética (H/m);

σ = condutividade elétrica do meio material (S/m);

ε = permissividade elétrica (F/m).

3.2 Reflexão

Segundo Pereira (2014), o sinal pode sofrer diversos fenômenos durante a sua propagação, dentre eles, a reflexão. O fenômeno da reflexão ocorre quando uma onda incide em uma superfície e se propaga no sentido contrário e no mesmo meio em que ela foi propagada. No caso das ondas eletromagnéticas, os campos elétricos e magnéticos são perpendiculares entre si e entre a direção de propagação (ALONSO; FINN, 2018).

Ainda de acordo com Pereira (2014), além da reflexão, o sinal também pode sofrer a dispersão durante a propagação. A dispersão se caracteriza pela propagação em várias direções após o sinal incidir sobre a superfície (GIACOMIN; VASCONCELOS, 2006).

Para melhor entendimento, utiliza-se os conceitos de onda incidente, onda refletida e onda transmitida sendo ondas planas propagadas em dois meios, conforme Figura 4. A onda incidente se propaga ao longo de $+\mathbf{a}_z$ no meio 1, assumindo:

$$\mathbf{E}_{is}(z) = \mathbf{E}_{i0} e^{-\gamma_1 z} \mathbf{a}_x \quad (10)$$

Onde:

\mathbf{E}_{is} = fasor de densidade de campo elétrico incidente (V/m);

\mathbf{E}_{i0} = amplitude da densidade de campo elétrico incidente (V/m);

γ = constante de propagação (1/m).

Logo,

$$\mathbf{H}_{is}(z) = \mathbf{H}_{i0} e^{-\gamma_1 z} \mathbf{a}_y \quad (11)$$

Onde:

\mathbf{H}_{iS} = fasor de densidade de campo magnético incidente (A/m);

\mathbf{H}_{i0} = amplitude da densidade de campo magnético incidente (A/m);

γ = constante de propagação (1/m).

Além disso, a onda refletida se propaga ao longo de $-\mathbf{a}_z$, e se dá pela seguinte expressão:

$$\mathbf{E}_{rS}(z) = \mathbf{E}_{r0} e^{-\gamma_1 z} \mathbf{a}_x \quad (12)$$

Onde:

\mathbf{E}_{rS} = fasor da densidade de campo elétrico refletida (V/m);

\mathbf{E}_{r0} = amplitude da densidade de campo elétrico refletida (V/m);

γ = constante de propagação (1/m).

Logo,

$$\mathbf{H}_{rS}(z) = \mathbf{H}_{r0} e^{-\gamma_1 z} (-\mathbf{a}_y) \quad (13)$$

Onde:

\mathbf{H}_{rS} = fasor da densidade de campo magnético refletida (A/m);

\mathbf{H}_{r0} = amplitude da densidade de campo magnético refletida (A/m);

γ = constante de propagação (1/m).

E a onda transmitida que se propaga em $+\mathbf{a}_z$ no meio 2, se dá por:

$$\mathbf{E}_{tS}(z) = \mathbf{E}_{t0} e^{-\gamma_1 z} \mathbf{a}_x \quad (14)$$

Onde:

\mathbf{E}_{tS} = fasor da densidade de campo elétrico transmitido (V/m);

\mathbf{E}_{t0} = amplitude da densidade de campo elétrico transmitido (V/m);

γ = constante de propagação (1/m).

Logo,

$$\mathbf{H}_{ts}(z) = \mathbf{H}_{t0} e^{-\gamma_1 z} \mathbf{a}_y \quad (15)$$

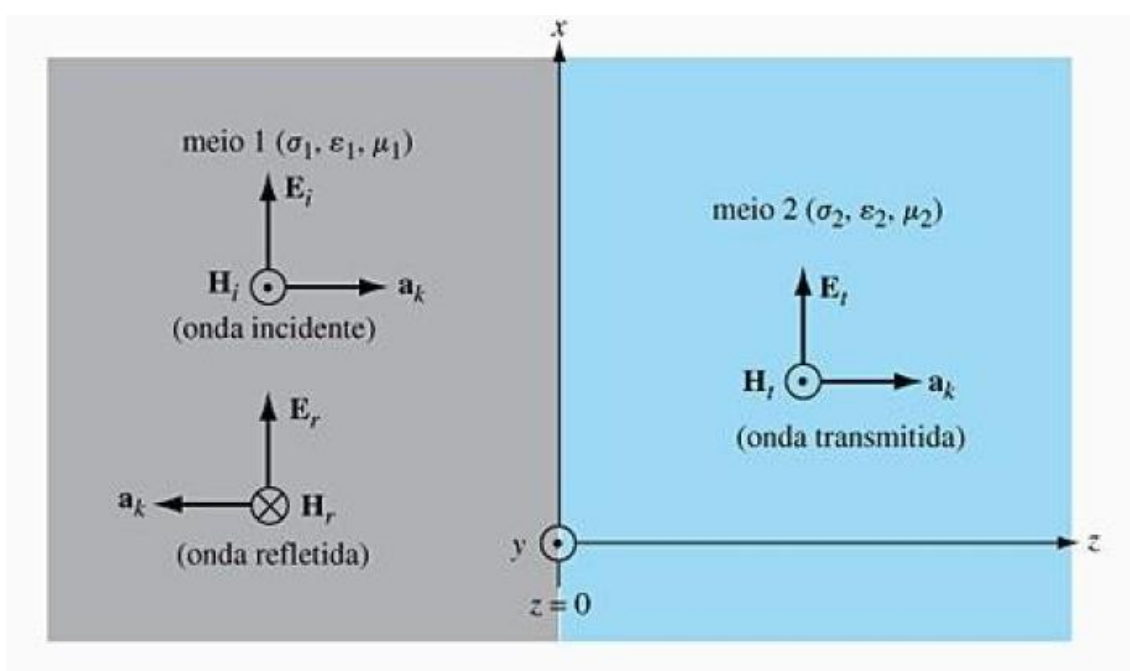
Onde:

\mathbf{H}_{ts} = fasor de densidade de campo magnético transmitido (A/m);

\mathbf{H}_{t0} = amplitude da densidade de campo magnético transmitido (A/m);

γ = constante de propagação (1/m).

Figura 4 - Onda plana em dois meios.



Fonte: SADIKU (2004).

Com isso, pode-se perceber que, no meio 1 há as ondas incidentes e refletidas e, no meio 2 há somente a onda transmitida. Sendo assim:

$$E_1 = E_i + E_r \quad (16)$$

$$H_1 = H_i + H_r \quad (17)$$

$$E_2 = E_t \quad (18)$$

$$H_2 = H_t \quad (19)$$

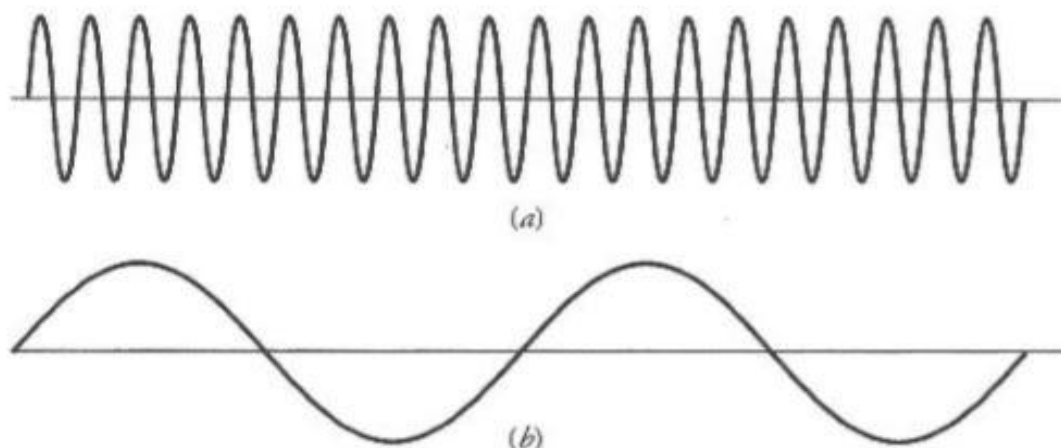
4 TV ANALÓGICA

A TV analógica utiliza a transmissão analógica de sinais através de ondas como as definidas na sessão 3 (CORRÊA, 2011). A compreensão do conceito de sinais analógicos é importante para que se entenda o funcionamento da TV analógica, bem como sua digitalização. De acordo com Fernandes e Panazio (2009), os sinais são expressões da variação de uma característica física ao longo do tempo, de modo que permita representar a informação desejada. Na forma analógica, sua amplitude pode adotar qualquer valor que pertença a um intervalo contínuo de valores, ou seja, variam continuamente com o tempo. Dessa forma, eles são classificados como sinais físicos que se manifestam na natureza e assumem valores contínuos, tal como a temperatura e o sinal de voz.

A base para a operação de sistemas de comunicação analógicos é a modulação, pois para o uso apropriado do canal de comunicação é necessário um deslocamento da faixa de frequências da banda base para outras faixas de frequências apropriadas à transmissão (HAYKIN, 2007). A modulação pode ser caracterizada como um processo no qual alguma característica de uma onda é variada conforme outra onda que contém a informação que se deseja transmitir (HAYKIN, 2007). A onda que tem uma de suas características variadas é chamada de onda portadora, e a que carrega a informação é chamada de onda modulante.

No gráfico da Figura 5(a) é representada uma onda portadora, geralmente se trata de uma onda senoidal. Já no gráfico da Figura 5(b) é representado um sinal de mensagem qualquer. Dessa forma, existem alguns tipos de modulação, como em amplitude (AM - *Amplitude Modulation*), na qual a característica variada é a amplitude do sinal da onda portadora. Outro tipo de modulação é a modulação angular, que se subdivide em modulação em frequência (FM - *Frequency Modulation*) e em fase (PM - *Phase Modulation*). A modulação FM compreende a variação da frequência instantânea da onda portadora, com relação ao sinal da onda modulante, da mesma forma que a modulação PM, exceto pela característica variada ser o ângulo instantâneo.

Figura 5 – (a) Onda Portadora; (b) Onda Modulante

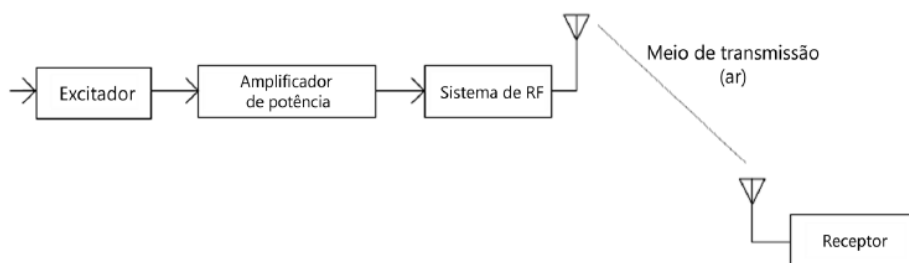


Fonte: HAYKIN (2007).

No sistema televisivo é utilizada a transmissão por radiodifusão (*broadcasting*), na qual um único transmissor potente é o responsável pela propagação da informação a numerosos receptores. Na radiodifusão os sinais de informação fluem somente em uma direção: do transmissor para o receptor (HAYKIN, 2007). Um diagrama de blocos exemplificando a transmissão por radiodifusão é mostrado na Figura 6.

Na Figura 6, os blocos do excitador, do amplificador de potência e do sistema de RF (radiofrequência) constituem o transmissor, seguido de uma antena, o meio aéreo onde o sinal se propaga e diversos locais de recepção (ROCHA, 2013). A entrada desse diagrama é um sinal portador de informação analógica (fala, música ou imagens) que é modulado em uma frequência que identifica a estação transmissora. Segundo Rocha (2013), ao ser adotado a amplificação comum, os sinais de entrada modulados são combinados no excitador e amplificados juntos no amplificador de potência, para então serem conduzidos até a antena transmissora.

Figura 6 – Sistema de Transmissão por Radiodifusão.



Fonte: HAYKIN (2007).

De acordo com Haykin (2007) a propagação do sinal ocorre, de fato, a partir da antena, que executa o papel de unidade de transição e acopla a fonte do sinal modulado e as ondas eletromagnéticas que se propagam no meio aéreo. A intenção ao projetar a antena é excitar as ondas na direção necessária da forma mais eficiente possível (HAYKIN, 2007). No bloco do receptor, uma antena receptora é usada para captar as ondas irradiadas, recebendo as informações.

A propagação dessas informações através de ondas eletromagnéticas ocorre devido a diversos mecanismos e efeitos que atuam conforme a faixa de frequência e a distância considerada. O caso mais simples de propagação de ondas de rádio seria no espaço livre de obstruções em qualquer direção. Este cenário é caracterizado como uma situação ideal, pois não se aplica as condições terrestres, entretanto ele é útil para introduzir uma visão inicial dos mecanismos de propagação (CAVALCANTI, 2005).

No espaço livre, a potência cai com o inverso do quadrado da distância, ou seja, o nível de potência recebido cai 6 dB quando a distância é dobrada. Porém, sabe-se que o nível de potência do sinal recebido cai com um fator maior do que 2, se considerarmos a influência de fatores presentes entre as antenas como urbanização, vegetação, relevo e reflexões (CAVALCANTI, 2005).

O índice de refração da troposfera é dependente da temperatura, da pressão e da umidade relativa do ar, sofrendo um decréscimo à medida que a altura aumenta. Este decréscimo provoca um encurvamento na trajetória das ondas de rádio que ao serem expostas a condições incomuns de temperatura e umidade

provocados pelo clima, ocasionam decréscimos ainda mais acentuados do índice de refração. Nessas condições, os sinais de rádio são parcialmente refletidos, contribuindo também para o aparecimento de dutos que formam regiões de sombra no receptor (CARVALHO, 2003).

Já a morfologia da região, urbanização, relevo e vegetação, estão relacionados com o desvanecimento ou sombreamento do sinal. Quando alguma obstrução se encontra no caminho de propagação esta faz com que o receptor fique em uma região de sombra eletromagnética (com o nível de sinal muito reduzido). Dessa forma, as ondas só conseguem atingir o receptor por meio da difração e espalhamento (CARVALHO, 2003).

No sistema de radiodifusão de sons e imagens o transmissor tem duas funções: transmitir áudio e vídeo em portadoras separadas (CORRÊA, 2011). Para o sinal de vídeo se utiliza a modulação AM e para o sinal de áudio é utilizada a modulação FM.

Uma transmissão emprega dois transmissores: um de vídeo, com a onda portadora modulada em amplitude (AM/VSB – uma banda lateral vestigial) e o outro, de áudio, com portadora modulada em frequência (FM). Cada uma das portadoras ocupa a sua devida posição no espectro e se somam no duplexador para alimentar a antena transmissora (MEDEIROS, 2007, p. 136).

Conforme Medeiros (2007), apesar do uso de modulações diferentes para cada tipo de sinal, ambos são transmitidos por uma mesma antena. Já nos receptores, a antena consegue captar tanto a portadora de som quanto a de imagem. Então, os sinais são amplificados e detectados, com o intuito de recuperar a modulação original. O produto do detector de vídeo contém o sinal necessário para a reprodução da imagem.

Definidos, inicialmente, para a TV em preto e branco, os padrões de TV analógica se estenderam, por questões de compatibilidade, à TV em cores. São intitulados pela sigla do sistema de cor seguida de uma letra equivalente a seu grupo de características técnicas. Destacam-se como os principais modelos o norte-americano NTSC (*National Television System Committee*), o francês SECAM (*Sequential with memory*) e o alemão PAL (*Phase Alternation Line*), este último seria o escolhido para ser o sistema de cor adotado no Brasil (MEDEIROS, 2007).

Durante o processo de desdobramento da TV em preto e branco, foram criadas várias normas, uma delas se tratava da dependência com a frequência da rede elétrica local. O PAL-M, como foi denominado no Brasil, precisou passar por modificações, já que seus parâmetros técnicos eram dimensionados para uma rede de energia elétrica de 50Hz e seria necessário que ele operasse em 60Hz, frequência atribuída ao sistema elétrico nacional (MEDEIROS, 2007). Como nos Estados Unidos a frequência de operação era de 60Hz, essa característica fez parte das normas estabelecidas pela RMA (*Radio Manufacturers Association*), ou simplesmente “M”. Dessa forma, essa característica levou alguns países a adotarem o sistema PAL, obedecendo ao padrão “M”, em razão da dificuldade de concordância entre a frequência da rede elétrica com o sistema, dando origem ao PAL-M (CORRÊA, 2011).

No padrão M, determinou-se para cada canal de transmissão uma largura de banda de 6MHz, entre as faixas de VHF e UHF. A Tabela 1 mostra a canalização dessas faixas, bem como suas frequências iniciais e finais.

Tabela 1 – Canalização das faixas analógicas de VHF e UHF

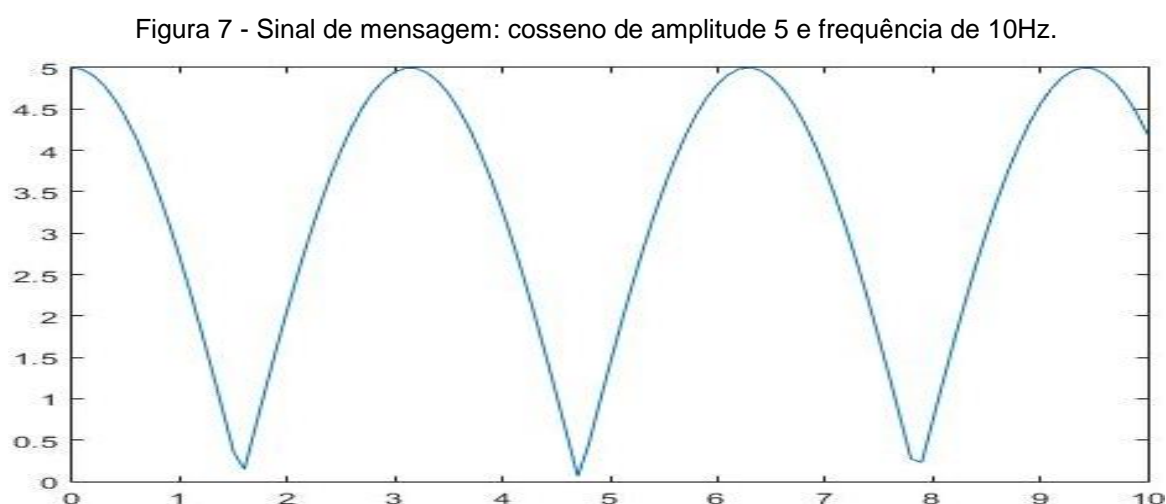
Canal	Frequência Banda, MHz	Canal	Frequência Banda, MHz	Canal	Frequência Banda, MHz
2	54-60	25	536-542	48	674-680
3	60-66	26	542-548	49	680-686
4	66-72	27	548-554	50	686-692
5	76-82	28	554-560	51	692-698
6	82-88	29	560-566	52	698-704
7	174-180	30	566-572	53	704-710
8	180-186	31	572-578	54	710-716
9	186-192	32	578-584	55	716-722
10	192-198	33	584-590	56	722-728
11	198-204	34	590-596	57	728-734
12	204-210	35	596-602	58	734-740
13	210-216	36	602-608	59	740-746
14	470-476	37	608-614	60	746-752
15	476-482	38	614-620	61	752-758
16	482-488	39	620-626	62	758-764
17	488-494	40	626-632	63	764-770
18	494-500	41	632-638	64	770-776
19	500-506	42	638-644	65	776-782
20	506-512	43	644-650	66	782-788
21	512-518	44	650-656	67	788-794
22	518-524	45	656-662	68	794-800
23	524-530	46	662-668		
24	530-536	47	668-674		

Fonte: Revista Mackenzie.

5 TV DIGITAL

O sinal digital, diferente do sinal analógico, assume um conjunto finito de valores discretos ao longo do tempo. Para que sinais analógicos possam ser transmitidos na forma digital, tais como sinais de áudio e vídeo, esses precisam passar por etapas para que sejam digitalizados. Este processo é chamado de conversão analógico/digital, sendo composto por três estágios: amostragem, quantização e codificação. (FERNANDES; PANAZIO, 2009).

De forma a contextualizar cada etapa do processo de digitalização de um sinal de mensagem analógico, é utilizado o *software* MATLAB® com o intuito de melhor representar o processo de conversão analógico/digital. Considere o sinal de mensagem apresentado no gráfico da Figura 7, onde o eixo x é representado pelo tempo e y, a amplitude.



Fonte: Elaborado pelos autores.

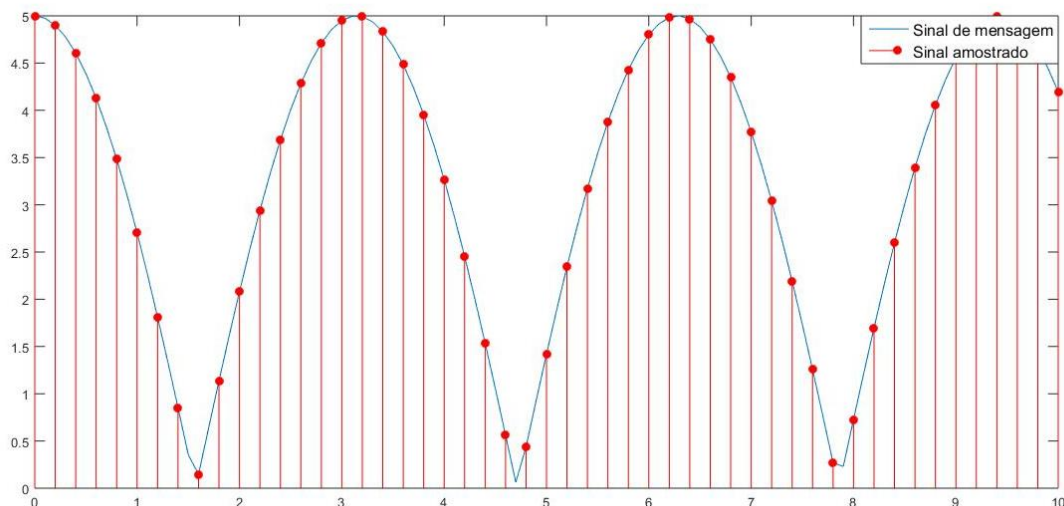
5.1 Amostragem

De acordo com Haykin e Moher (2011), o processo de amostragem é geralmente descrito no domínio do tempo e é fundamental para o processo de digitalização de sinais, pois converte o sinal analógico em uma sequência de amostras espaçadas igualmente no tempo.

No gráfico da Figura 8, nota-se que o sinal amostrado nada mais é do que uma sequência periódica de impulsos unitários, cuja amplitude varia com o sinal de mensagem. Além disso, o sinal apresentado é amostrado com frequência de

amostragem (f_s) igual à 5Hz e intervalo de amostragem $t_s=0:1/f_s:10$, indicando que o intervalo vai de 0 a 10, com intervalo de $1/f_s$.

Figura 8 - Amostragem do sinal.



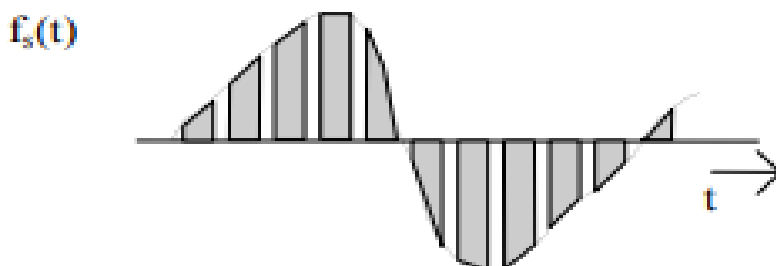
Fonte: Elaborado pelos autores.

A amostragem pode ser instantânea, como pode ser vista no sinal amostrado no gráfico da Figura 8. Sua denominação é em virtude dos pulsos que levam a informação apenas no instante de amostragem do sinal de mensagem, tornando-o inalterado durante o intervalo de amostragem (CARVALHO, 2009).

Além disso, a amostragem também pode ser natural, onde o pulso da amostra é multiplicado pelo sinal de mensagem, fazendo com que cada pulso do sinal amostrado varie, levando a informação durante toda a largura do sinal de mensagem. Diante disso, essa amostra não tem utilidade na conversão analógico/digital porque, para que haja a recuperação do sinal, é preciso que a amostra não tenha seu valor variado (MOECKE, 2006).

Como podemos perceber, o sinal mostrado na Figura 9 foi multiplicado por um trem de pulsos. Com isso, podemos perceber que o pulso retangular varia com o sinal de mensagem.

Figura 9 - Amostragem natural.



Fonte: Moecke (2006).

5.2 Quantização

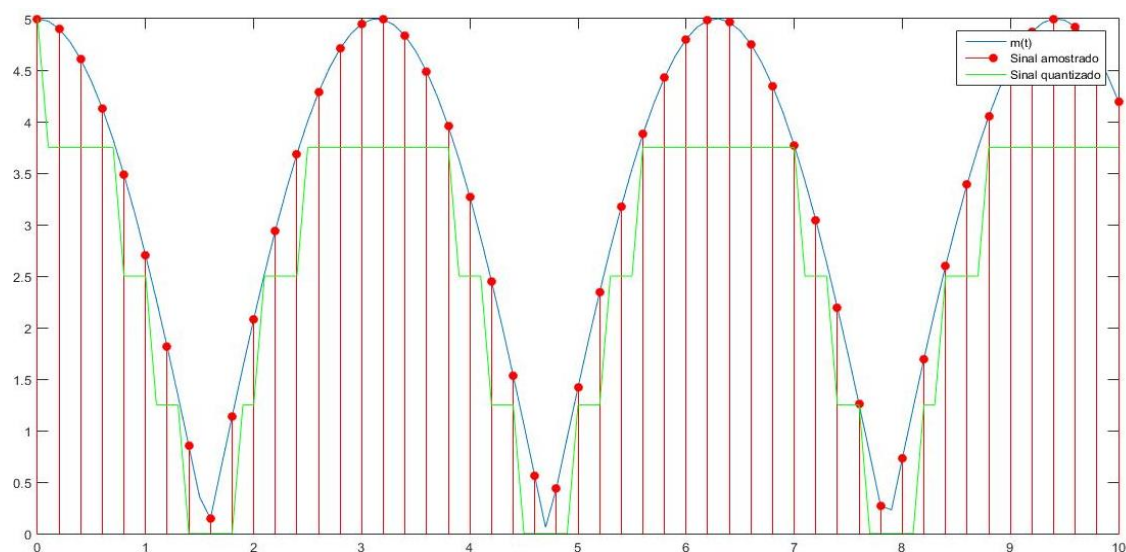
O conjunto de níveis possível é determinado pelo número de *bits* que serão usados para a codificação. Com isso, se o número de *bits* do sinal quantizado for 3, o sinal terá 8 níveis. Esse número é obtido através da expressão 2^n , onde n é o número de *bits* utilizados. Para obter o menor erro de quantização, deve-se escolher o melhor método de quantização, que dependerá do sinal a ser considerado. Há dois tipos de quantização: uniforme e não uniforme (FERNANDES; PANAZIO, 2009)

De acordo com Fernandes e Panazio (2009), a quantização uniforme possui amplitudes espaçadas uniformemente e é aplicada a sinais com range dinâmico baixo, ou seja, a diferença de amplitude máxima e mínima é pequena.

Ainda de acordo com Fernandes e Panazio (2009), a quantização não uniforme é utilizada quando o sinal possui um range muito alto, ou seja, a diferença entre a amplitude mínima e máxima é grande. Nesse caso, a utilização da quantização uniforme resultará em erros de quantização.

Como observado no gráfico da Figura 10, a quantização é do tipo uniforme, pois as amplitudes estão espaçadas igualmente em 1,25 cm, como pode-se notar no eixo y.

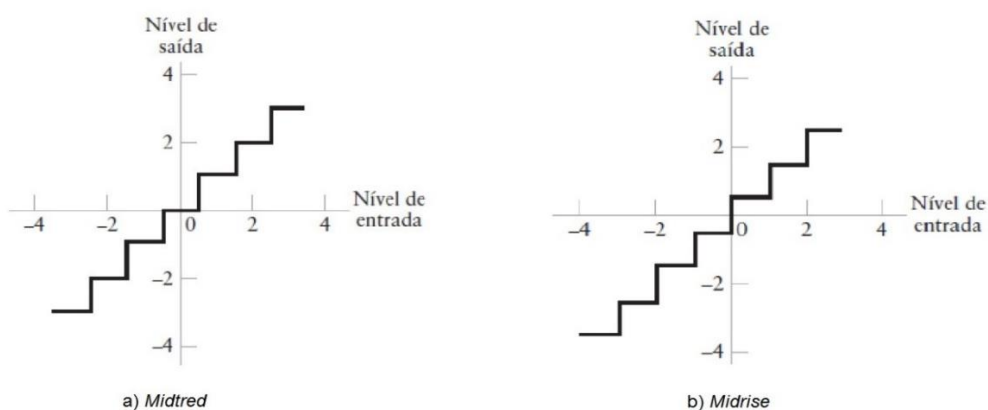
Figura 10 - Quantização do sinal.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Além disso, podemos caracterizar essa quantização em dois tipos de quantizadores: o *midtred* e *midrise*.

Pode-se observar que a Figura 11(a) que o quantizador *midtred*, tem sua origem no meio de um degrau do sinal quantizado. Em contrapartida, o quantizador *midrise* tem sua origem na subida do degrau, como pode ser observado na Figura 11(b) (HAYKIN; MOHER, 2011).

Figura 11 – (a) Quantizador *midtred*. (b) Quantizador *midrise*.

Fonte: HAYKIN; MOHER (2011).

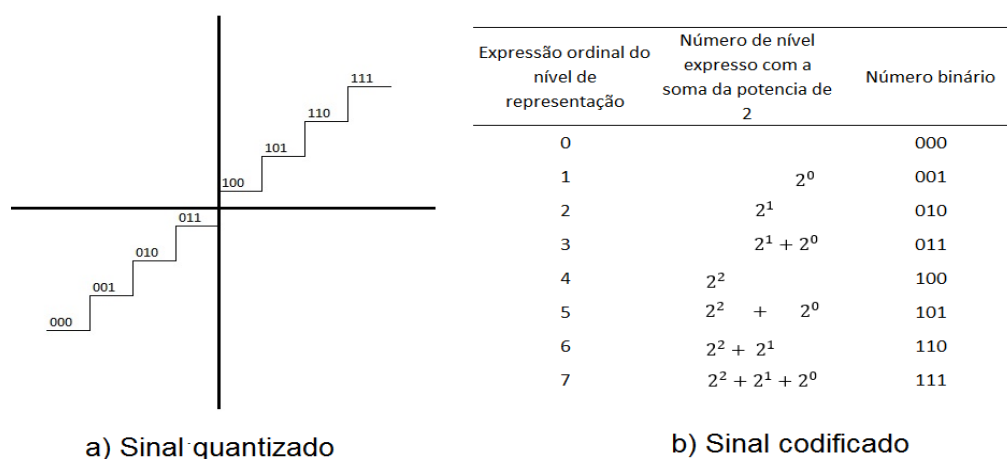
5.3 Codificação

E por fim, o processo de codificação é a compreensão dos valores discretos em uma forma de sinal mais apropriada para transmissão e armazenamento de dados. A sequência usada para representar os valores discretos é chamada de código (HAYKIN; MOHER, 2011). Esses códigos, normalmente binários, possuem ausência ou presença de impulsos e tornam o sinal mais robusto a interferências e ruídos do canal porque, em meio à transmissão, o sinal suporta um elevado nível de ruído e pode recuperar o sinal com mais facilidade (HAYKIN; MOHER, 2011).

A Figura 12(a) mostra os níveis de quantização para o sinal de mensagem do gráfico da Figura 7, utilizando 3 *bits*. Já na Figura 12(b), mostra os seus correspondentes em número binário e na soma de potências de 2.

Como observado na Figura 12(b), cada dígito, exceto o 0, tem uma potência 2 em seu nível. A partir daí esses dígitos são convertidos em uma sequência binária chamada codificação de linha, que assume dados numéricos a partir de uma representação elétrica (HAYKIN; MOHER, 2011).

Figura 12 – (a) Sinal quantizado (b) Sinal codificado.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Algumas sinalizações desses códigos de linha são conhecidas como sinalização Unipolar NRZ, Polar NRZ, Unipolar RZ, Polar com retorno a zero BRZ e Manchester (HAYKIN; MOHER, 2011).

Após a codificação, o sinal é multiplexado para o transporte de dados e é feita toda a programação da emissora, chamado de sinal *Broadcast Transport*

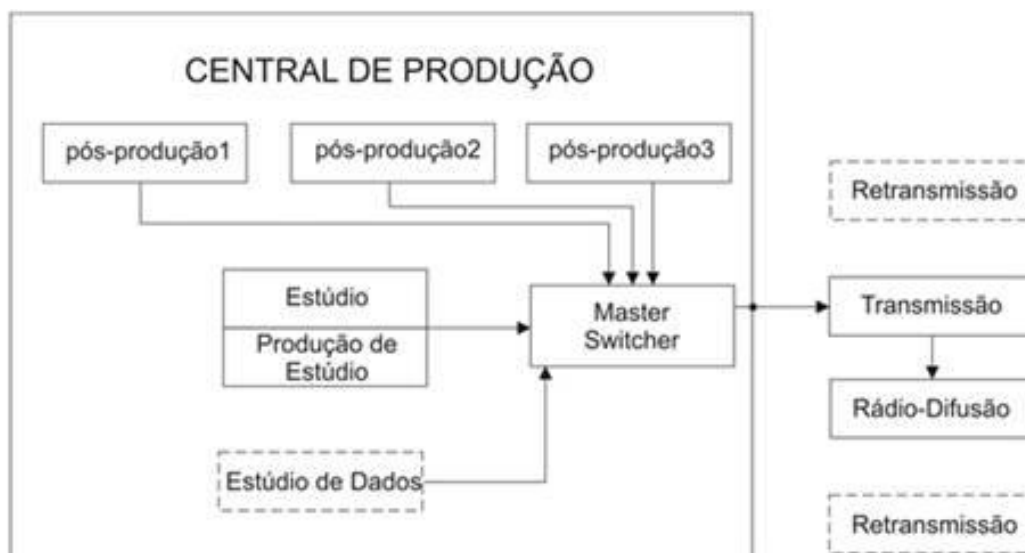
Stream (BTS), que também é comumente chamado de sinal BTS (INATEL, 2017). Segundo Frezel (2013), multiplexar é o processo de transmitir dois ou mais sinais ao mesmo tempo e no mesmo canal, sendo realizada pelo multiplexador que tem a função de combinar vários sinais em somente um (FREZEL, 2013).

Dentre os modelos existentes, há o modelo europeu, americano e japonês. O modelo de TV utilizado no Brasil é o modelo japonês com alguns ajustes para a transmissão de TV Digital chamado ISDB-T (*Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial*) devido a capacidade de alta resolução e pela grande facilidade de radiodifusão em ambientes urbanos (INATEL, 2007).

5.4 Transmissão

Para entender o processo de transmissão, é necessário entender todo o procedimento de produção do conteúdo da TV digital, mostrado no fluxograma na Figura 13.

Figura 13 – Produção de conteúdo da TV Digital.



Fonte: PEREIRA (2010)⁴

Como visto na Figura 13, a central de produção é onde toda a programação da emissora é gerada. Na produção de estúdio são feitas as imagens, edição e entrega de todo o produto. Com isso, toda a programação é organizada pela pós-

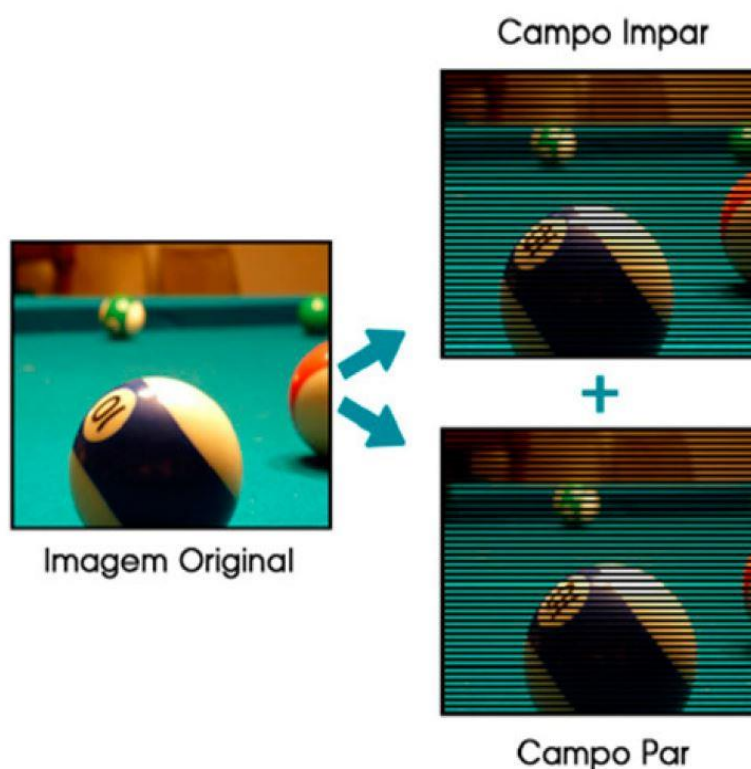
⁴ Disponível em: <http://www.teleco.com.br/tutoriais/tutorialaltvdriel2/pagina_2.asp>. Acesso em: 16 mai. 2019.

produção, que também tem a função de manipular as fontes de mídia. Esse produto é entregue ao *Master Switcher* que organiza a programação e leva até um sistema de transmissão que encaminha o fluxo de mídia até o sistema de radiodifusão (PEREIRA, 2010).

Ainda de acordo com Pereira (2010), esse fluxo de mídia deve ser serializado em um único fluxo. Esse fluxo é chamado de SDI (Serial Digital Interface), que padroniza o sinal para o transporte de áudio e vídeo (INATEL, 2017).

Segundo o Inatel (2017), existem dois processos de varredura de linha: o entrelaçado e o progressivo. O mais utilizado em entrelaçado faz varreduras nas linhas ímpares, obtendo um campo ímpar. Além disso, é feito o processo de varredura nas linhas pares, resultando em um campo par. Juntando os campos pares e ímpares, a imagem é formada, como mostrada na Figura 14.

Figura 14 – Processo de varredura de linha entrelaçado.



Fonte: INATEL (2017).

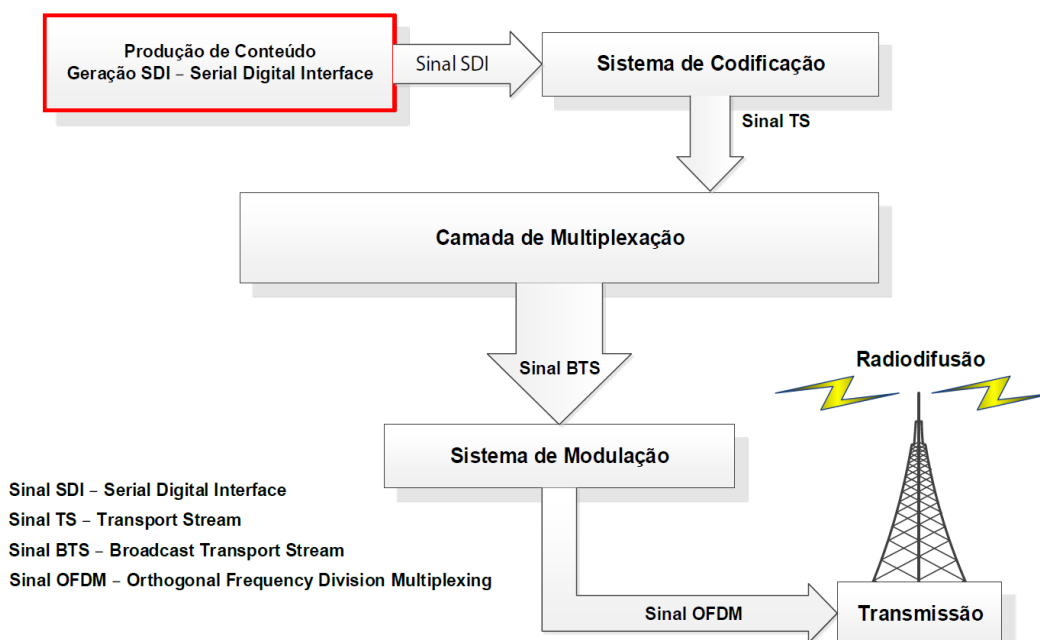
Após toda a produção na Figura 13, o fluxo de mídia passa por um processo de codificação, que é a compreensão dos sinais e sua redução de largura de banda, originando o sinal TS (*Transport Stream*) (INATEL, 2007). Vários desses TS multiplexados tem-se o sinal BTS que é montado na camada de multiplexação e

origina o sinal OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que tem sua banda dividida em várias subportadoras (STOLFI, 2016). De acordo com Neto (2008), essa modulação impede a grande quantidade de erros na recepção e o sinal que é recebido é atenuado em um determinado intervalo de tempo.

O modelo brasileiro utiliza o padrão MPEG-2 para a codificação de fonte de vídeo (PAES; ANTONIAZZI; SAADE, 2005). De acordo com o Inatel (2017), a codificação de fonte consiste em reduzir a taxa de transmissão dos sinais. A codificação utilizada é a MPEG que trata dos problemas de codificação e o padrão MPEG-2 corrigia os problemas do MPEG-1 com a transmissão de vídeo via radiodifusão (INATEL, 2017).

De acordo com a Figura 15, o sinal OFDM é transmitido através da radiodifusão. O sinal é emitido através dos transmissores, que enviam as informações de modo que a cobertura de TV cubra todos os locais da cidade. A transmissão mostrada na Figura 15 é do tipo *Broadcasting* e ela é caracterizada por uma única fonte de transmissão e vários receptores (PEREIRA, 2010).

Figura 15 – Diagrama de sinais da TV Digital.



Fonte: INATEL (2017).

Ainda seguindo a ideia de Pereira (2010), o conversor sincroniza toda a programação que foi enviada pela emissora para se ter acesso ao conteúdo disponibilizado por ela e finalmente ser mostrado no televisor

Para que o sinal seja recuperado pela televisão, deve ser ter o kit de TV Digital, que é composto por uma antena digital UHF (*Ultra High Frequency*) e um conversor digital, que é responsável pela decodificação do sinal recebido (FREITAS, 2004).

Conforme o Inatel (2017), a decodificação do sinal é feita através da equalização do sinal, eliminando alguns ruídos de transmissão. Em seguida, o *clock* que foi utilizado para codificar o sinal é recuperado, a fim de ser utilizado na decodificação dos pulsos para que o fluxo de *bits* seja sincronizado. Com isso, o fluxo serial é recuperando contendo todas as informações de áudio e vídeo.

5.5 Modulação OFDM

A modulação OFDM, derivada da técnica de multiplexação por divisão de frequência FDM (*Frequency Division Multiplexing*), transmite paralelamente os dados que são divididos em subportadoras ortogonais com baixa taxa de transmissão cada uma (PINTO; ALBUQUERQUE, 2002). A soma da taxa de cada portadora equivale, aproximadamente, à modulação de portadora simples com a mesma largura de banda. Isso quer dizer que um fluxo de informação que possui uma alta taxa de *bits* é dividido em diversos fluxos paralelos de taxa mais baixa (JUNIOR, 2008). Essa característica garantiu a modulação OFDM a vantagem de ser mais tolerante a condições extremas no meio de propagação, como problemas devido ao multipercurso, do que técnicas de portadoras simples.

Como visto anteriormente, a largura de banda em cada canal do sistema brasileiro possui 6MHz, esta é dividida em 14 partes, sendo 13 destinadas à transmissão e uma usada como banda de guarda entre os canais. Portanto, cada parte possui 428.57KHz e é denominada segmento OFDM, onde cada tipo de serviço (fixo, móvel ou portátil) é composto de um ou mais segmentos (JUNIOR, 2008). Nesse contexto, é interessante conhecer a canalização das faixas de frequências atribuídas à transmissão de TV digital. Na Tabela 2 estão listados os canais para VHF e na Tabela 3 os canais para UHF.

Tabela 2 – Canalização para TV Digital na faixa de VHF.

CANAL	FREQUÊNCIAS EXTREMAS (MHz)
7	174 – 180
8	180 – 186
9	186 – 192
10	192 – 198
11	198 – 204
12	204 – 210
13	210 – 216

Fonte: Anatel⁵

⁵ Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2005/288-resolucao-398>>. Acesso em: 10, jan 2020.

Tabela 3 – Canalização para TV Digital na faixa de UHF.

CANAL	FREQÜÊNCIAS EXTREMAS (MHz)
14	470 – 476
15	476 – 482
16	482 – 488
17	488 – 494
18	494 – 500
19	500 – 506
20	506 – 512
21	512 – 518
22	518 – 524
23	524 – 530
24	530 – 536
25	536 – 542
26	542 – 548
27	548 – 554
28	554 – 560
29	560 – 566
30	566 – 572
31	572 – 578
32	578 – 584
33	584 – 590
34	590 – 596
35	596 – 602
36	602 – 608
38	614 – 620
39	620 – 626
40	626 – 632
41	632 – 638
42	638 – 644
43	644 – 650
44	650 – 656
45	656 – 662
46	662 – 668
47	668 – 674
48	674 – 680
49	680 – 686
50	686 – 692
51	692 – 698
52	698 – 704
53	704 – 710
54	710 – 716
55	716 – 722
56	722 – 728
57	728 – 734
58	734 – 740
59	740 – 746

Fonte: Anatel⁶

⁶ Disponível em: <<https://www.anatel.gov.br/legislacao/resolucoes/2005/288-resolucao-398>>. Acesso em: 10, jan 2020.

6 MODELOS MATEMÁTICOS DE PREDIÇÃO

Conforme Cavalcanti (2005), a predição da área de cobertura é importante para o planejamento de um sistema de radiodifusão. É através dela que se pode avaliar a cobertura de um determinado serviço de maneira mais completa e precisa. Como segue:

A predição da área de cobertura é feita através de modelos matemáticos que descrevem a atenuação do sinal para uma determinada distância de separação entre as antenas de transmissão e recepção. Estes modelos são chamados de modelos de propagação ou predição de cobertura (CASTRO, 2010, p 12).

Com base neste conceito de predição de área de cobertura, selecionou-se o modelo de propagação da ITU, a recomendação ITU-R P.1546-5. Com ele, é possível estimar a potência do sinal que chega até a antena receptora em um determinado ponto, a fim de delimitar uma região aonde a recepção do sinal, bem como a qualidade, chegue até o aparelho do telespectador. Além de ele ser o modelo estabelecido por lei para que as emissoras projetem suas antenas transmissoras.

6.1 Modelo Itu-R P.1546-5

O método recomendado pela ITU-R (*International Telecommunication Union – Radiocommunication Sector*) usado para faixas UHF e VHF (*Very High Frequency*), descreve a predição de propagação ponto a ponto, numa frequência de 30 MHz a 3000 MHz sobre caminhos marítimos e terrestres. Este modelo utiliza o método numérico de interpolação e extrapolação empírica de curvas de forças de campo derivadas como função de distância, altura da antena, frequência e tempo percentual (CARVALHO, 2003).

6.1.1 Variabilidade Local

Como já visto, a intensidade de campo varia com algumas características do local (terreno) a ser medido, como podemos citar a reflexão no solo e edifícios que interferem nas medições devido ao comprimento da onda refletida. Também, temos

a interferência causada pelos prédios, casas e vegetação que afetam diretamente a qualidade do sinal. Isso significa que essas obstruções no caminho de propagação do sinal produzem perdas que diminuem a qualidade e até mesmo o alcance do sinal emitido.

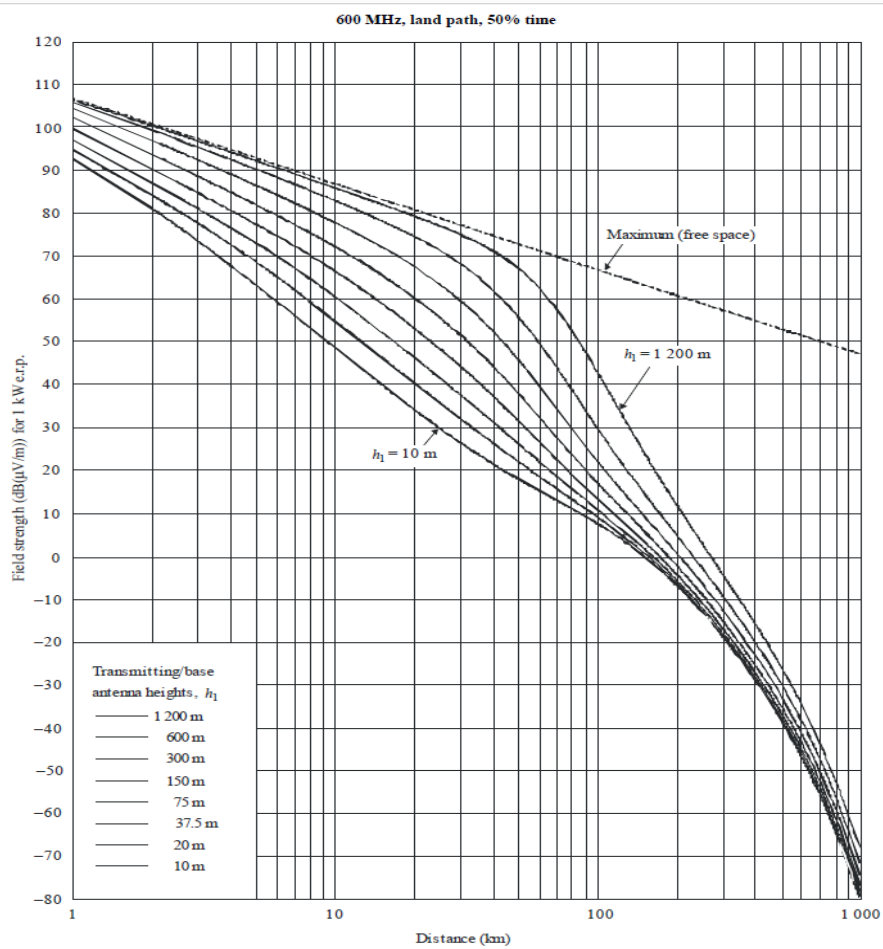
Portanto, a variabilidade local refere-se ao comportamento da intensidade de campo dentro de uma área preestabelecida. A Recomendação da ITU afirma que a condição morfológica do local varia a intensidade mediana do campo e determina que as curvas de propagação utilizadas pelo modelo ITU-R P.1546-5 representem valores de intensidade de campo excedidos em 50% dos locais em qualquer área de 500 m por 500 m. Isso significa que em 50% da área a intensidade de campo é maior do que o valor real.

6.1.2 Variabilidade Temporal

A variabilidade temporal refere-se à fração do tempo em que a intensidade instantânea de recepção é maior ou igual ao valor médio predito. Dessa forma, aumentando-se o valor da variabilidade temporal, aumenta-se a confiabilidade do campo predito. Geralmente, valores percentuais pequenos são empregados para análise de interferências na transmissão e não do sinal propriamente dito. A recomendação ITU-R P.1546-5 não permite a utilização de valores de variabilidade temporal maiores que 50% (SILVA, 2015).

As curvas de propagação, como a que mostra a Figura 16, representam valores de intensidade de campo para ERP (*Effective Radiated Power*) de 1kW em função da distância entre as antenas de transmissão e recepção em quilômetros (km). Por intermédio de técnicas de interpolação e extrapolação, os níveis de intensidade de campo podem ser definidos fazendo-se utilização dessas curvas. Estas levam consideração diversos parâmetros e diferem entre si de acordo com o caminho de propagação, se é terrestre ou marítimo. A curva da Figura 16 é representada para uma frequência de 600 MHz, para caminho terrestre e variabilidade temporal de 50%.

Figura 16 - Curva de intensidade de campo da Recomendação ITU-R P.1546-5.



Fonte: Recomendação ITU-R P.1546-5 (2013).

7 ICS TELECOM

Para fornecer a predição de cobertura da transmissão da estação em questão, será empregado o *software* ICS Telecom, que se trata de uma ferramenta utilizada pela Anatel para predição de cobertura de TV Digital e diversos outros fins. Este programa tem a finalidade de conferir uma solução de engenharia de espectro, com capacidade de estudo de radiofrequência (ATDI, 2020).

No processo de geração da cobertura, é definida a quantidade de potência da perda do sinal na forma ponto-área, de modo que, a localização e a altura da antena da estação, são aplicadas no cálculo da perda do sinal para os pontos definidos pelo usuário através da distância do nível do solo e a distância do percurso. O ICS Telecom disponibiliza vários modelos de propagação para geração da cobertura, entre eles a recomendação da ITU 1546-5 que será empregada no trabalho (ATDI, 2020).

Os resultados obtidos por meio do ICS Telecom serão adotados como base para os pontos que deverão ser selecionados para medição em campo. Além disso, a área de abrangência do sinal gerada por ele será comparada, também, com os valores calculados a partir do modelo matemático abordado nesta pesquisa, objetivando uma melhor precisão e avaliando o desempenho e a confiabilidade deste *software* (ATDI, 2020).

8 METODOLOGIA

Este trabalho adotou como antena transmissora a antena da emissora TV Equinócio Comunicações LTDA – EPP, retransmissora da Rede Record, localizada na Av. dos Tupis, no bairro Buritizal. A aquisição dos parâmetros do tipo de antena utilizada foi obtida no acervo digital da Anatel. O acesso ao acervo digital foi possível por meio do acordo de cooperação celebrado entre a Anatel e o curso de Engenharia Elétrica da UNIFAP (Universidade Federal do Amapá), bem como o acesso ao programa ICS Telecom e aos equipamentos necessários para realização deste trabalho.

Os dados para geração da cobertura foram especificados na Tabela 4 e inseridos no *software* conforme Figura 17.

Tabela 4 – Parâmetros da Antena Transmissora.

Frequência Central	599 MHz
Canal	35
Altura da Antena Transmissora	78 m
Ganho da Antena Transmissora	10,2 dBi
Potência Nominal	4214 W
Perdas da Antena Transmissora	1,2 dB
Largura de Banda	6 MHz

Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 17 – Parâmetros inseridos no software.

The screenshot shows a software window titled "Tx/Rx parameters: 1 TV Equinócio" with a close button (X) in the top right corner. The window has several tabs: "General", "Patterns", "Channels", "Site", and "Advanced". The "General" tab is selected. At the top, there are dropdown menus for "Type" (Tx/Rx A (0)), "Signal" (ISDB-T 6 MHz (42)), "Status" (Unknown (0)), and "Frequency plan" (dropdown). To the right of these are "# 1" and "activated" buttons. Below this is a gear icon.

The main area is divided into three columns:

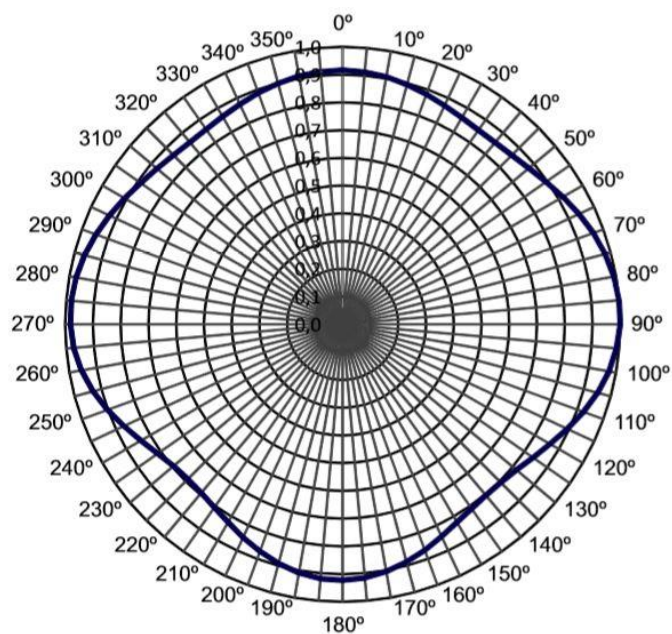
- Tx/Rx:** Contains input fields for "Nominal power (W)" (4214), "Dynamic (dB)" (0), "Tx ant gain (dBi)" (10.20), "Rx ant gain (dBi)" (0.00), "Losses (dB)" (1.20), "Tx add losses (dB)" (0.00), "E.I.R.P (W)" (33480.7), "Frequency (MHz)" (599.000000), "Antenna height (m)" (78.00), "Tx bandwidth (kHz)" (6000.00), and "Rx bandwidth (kHz)" (6000.00).
- Coverage:** Contains a "Coverage" input field (1546), "Delete" and "info" buttons, and an "OOB (dBW/MHz)" input field (0). Below are radio buttons for "Variable power", "Fixed power", "Fixed frequency" (selected), "Freq Hop / WB", "Variable elevation", and "Fixed elevation".
- Info:** Contains fields for "Callsign" (TV Equinócio), "Parenting" (0), "Address", "Date" (0), "Info (1)", "Type ID" (C), "Info (2)", "Link", "Network ID", "Group", "User", and "Call number" (0).

At the bottom, there is a "Comment:" text area and "SQL record 0" text. The window ends with "OK" and "Cancelar" buttons.

Fonte: Adaptado ICS Telecom (2019).

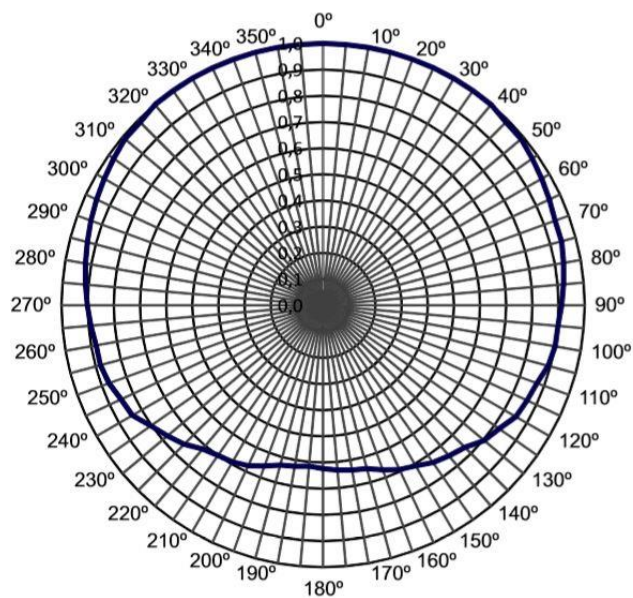
A antena transmissora, modelo ISDE83536UT da marca Ideal, tem polarização elíptica, com 8 fendas, para o canal 35, é omnidirecional e fabricada para instalação no topo da torre. Esta possui um diagrama horizontal, conforme a Figura 18, e um diagrama vertical, conforme a Figura 19, que também foram inseridos para uma predição de cobertura mais fiel, conforme Figura 20.

Figura 18 – Diagrama Horizontal da Antena.

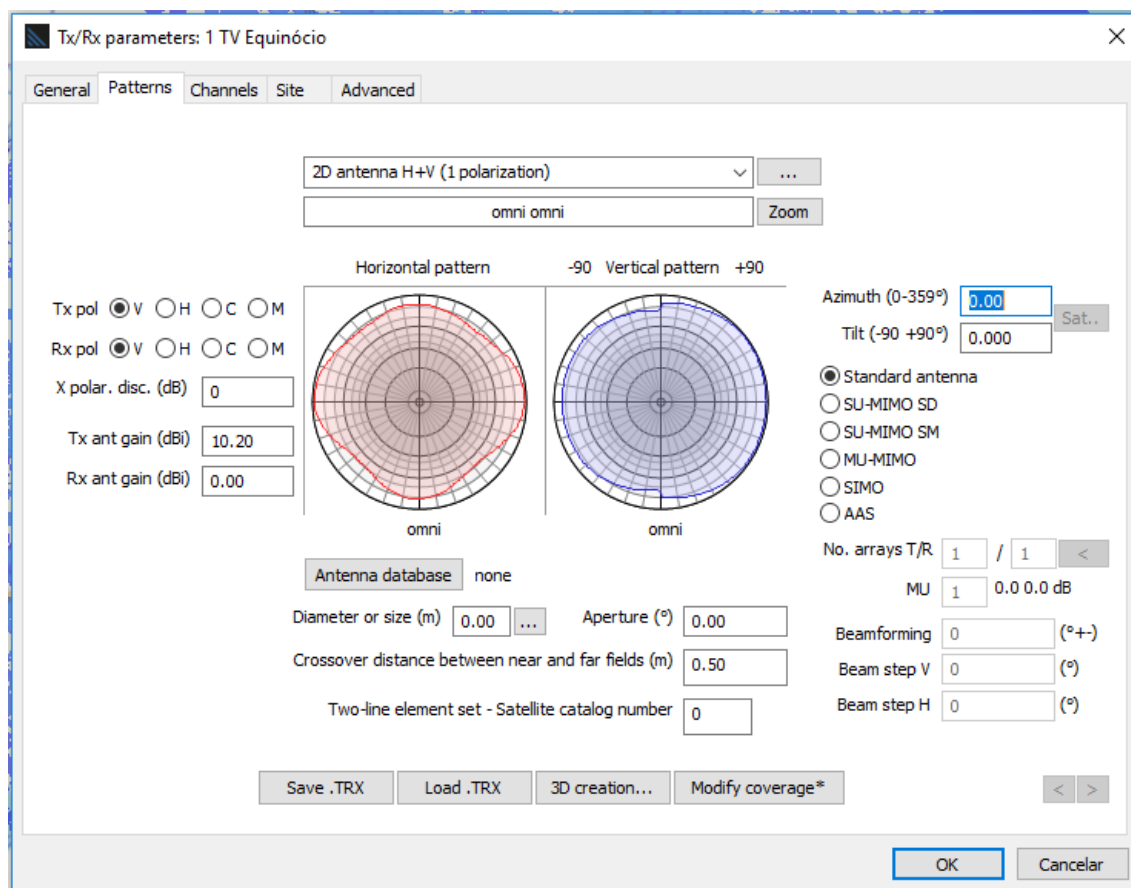


Fonte: Ideal Antenas.

Figura 19 – Diagrama Vertical da Antena.



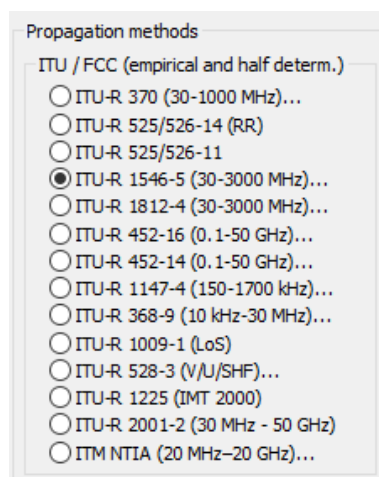
Fonte: Ideal Antenas.

Figura 20 – Diagramas inseridos no *software*.

Fonte: ICS Telecom (2019).

De posse desses dados, a cobertura foi gerada selecionando-se a opção para o modelo de propagação da ITU-R P.1546-5, como se observa na Figura 21.

Figura 21 – Modelo selecionado.



Fonte: Adaptado ICS Telecom (2019).

As medidas de campo foram realizadas no município de Macapá, utilizando um veículo especialmente destinado a isso, como segue na Figura 25. Este estava equipado com uma Estação Transportável de Monitoração do Espectro (ETM),

conforme a Figura 26, que foi o instrumento responsável por colher os níveis de sinal pelo percurso. Este equipamento é composto por um receptor, uma antena de 20MHz a 1GHz e um laptop para operação, além de uma outra antena de 1GHz a 6GHz, como mostra a Figura 27.

Figura 22 – Veículo com antena.



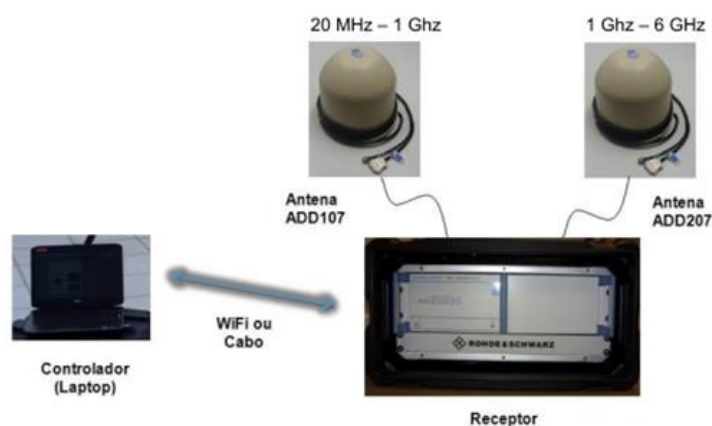
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 23 – Disposição dos equipamentos no veículo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 24 – Diagrama Esquemático da ETM.

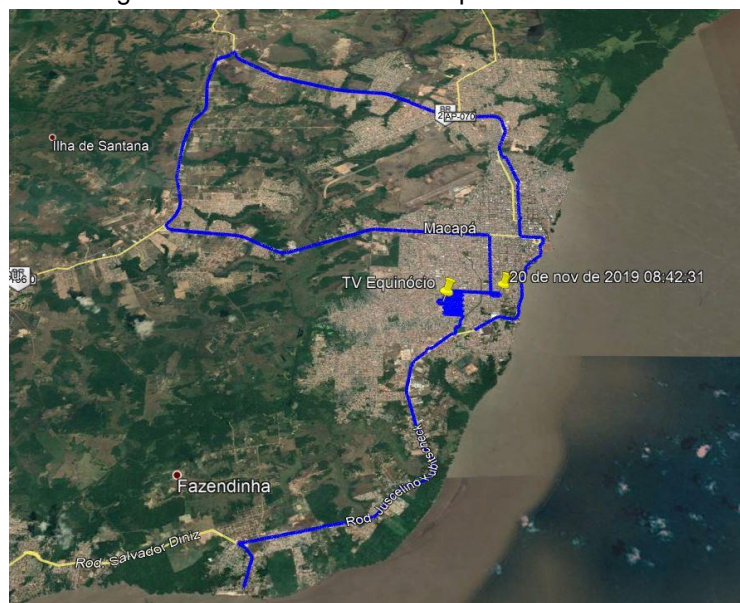


Fonte: Rohde & Schwarz.

A escolha da rota a ser percorrida priorizou locais próximos à antena transmissora e locais o mais distante possível da mesma, além de caminhos em que fosse possível a passagem do carro. Nesse aspecto, as medições alcançaram o município de Santana e até antes de chegar ao município de Mazagão, pois é de interesse para a comparação deste trabalho que se obtenha pontos próximos à borda da cobertura predita.

Utilizando o aplicativo de celular GeoTraker, foi possível mapear as rotas preestabelecidas, facilitando sua visualização no programa Google Earth®. A coleta dos dados foi feita conforme o carro percorria as rotas definidas, estas foram feitas em um dia útil e divididas em dois turnos, no período matutino, conforme a Figura 28, e no período vespertino, conforme Figura 29.

Figura 25 – Rota concluída no período matutino.



Fonte: Adaptado Google Earth® (2019).

Figura 26 – Rota concluída no período vespertino.



Fonte: Adaptado Google Earth® (2019).

Os níveis de potência previstos pelo modelo da Recomendação ITU-R P.1546-5 foram obtidos segundo o passo a passo encontrado no Anexo A.

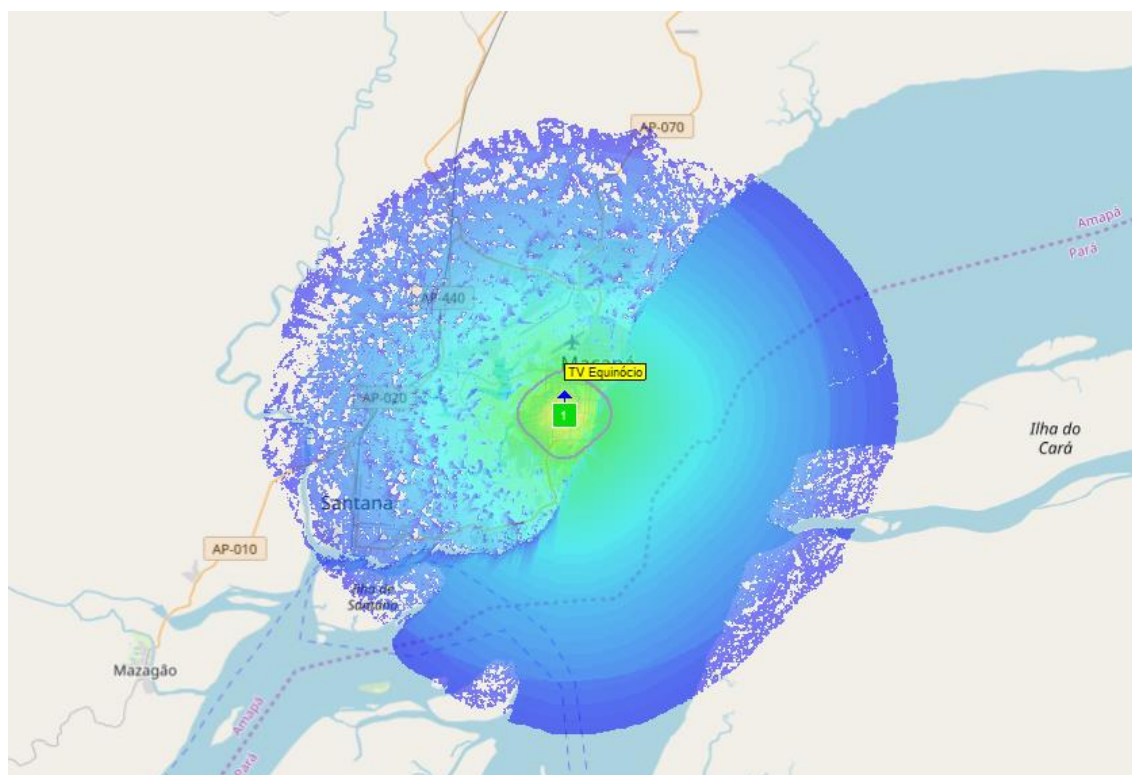
As análises são expostas utilizando gráficos de níveis de potência, em $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, pela distância entre as antenas transmissora e receptora, em km. Como também, um cálculo numérico do erro médio e desvio padrão do erro médio de cada gráfico, além da aplicação do teste t, auxiliando na interpretação dos mesmos.

9 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste tópico serão apresentados os resultados e análises da comparação da cobertura do sinal de TV Digital.

A predição da cobertura para TV Digital gerada a partir do *software* ICS Telecom pode ser visualizada na Figura 22.

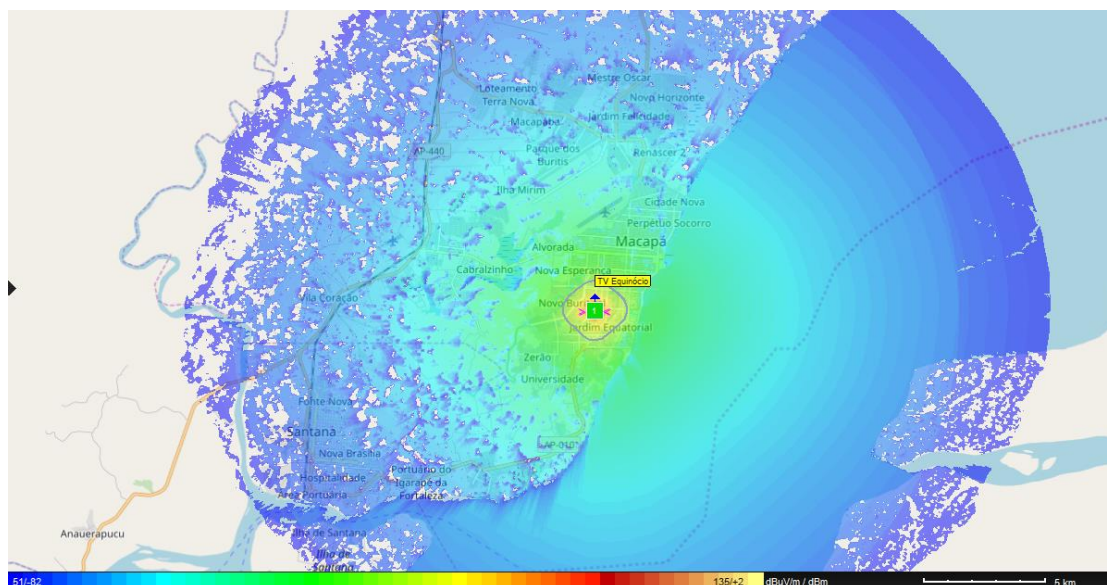
Figura 27 – Predição de cobertura feita pelo *software*.



Fonte: Adaptado ICS Telecom (2019).

Para uma melhor visualização, aproximou-se a mancha obtida e pode-se ver a legenda de cores, que quanto mais se afastam da zona próxima a emissora menor é o nível de sinal, em $\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$, até o limite estipulado de $51 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, conforme Figura 23. A escolha desse limite é justificada pela portaria da Anatel que delimita o valor mínimo para o contorno de serviço prestado pelas emissoras.

Figura 28 – Mancha e legenda.



Fonte: Adaptado ICS Telecom (2019).

Observando a Figura 24, nota-se que quanto mais próximo à emissora a coloração da mancha tende a ficar mais avermelhada, indicando uma intensificação dos valores de nível de sinal.

Figura 29 – Mancha próxima a emissora.



Fonte: Adaptado ICS Telecom (2019).

O equipamento ETM foi configurado para capturar amostras de sinal no intervalo de 1 segundo, a fim de garantir o maior número de amostras, resultando em um total de 10.552 amostras, onde 60 delas, em pontos distintos, foram escolhidas para serem usadas na composição dos resultados, como mostra a Figura 30. A partir dos valores de latitude e longitude em cada ponto, permitiu-se calcular a

distância destes até a antena transmissora para aplicação no cálculo do modelo matemático da ITU.

Figura 30 – Localização dos pontos selecionados.



Fonte: Adaptado Google Earth® (2019).

A partir dos dados coletados nas medições em campo, no desenvolvimento da mancha de predição do *software* ICS Telecom e dos valores estimados seguindo o passo a passo do Anexo A segundo a recomendação da ITU, foi possível realizar uma análise comparativa entre os níveis de potência gerados por cada procedimento.

Os valores de nível de potência obtidos nas medições em campo, no *software* ICS Telecom e pela aplicação da Recomendação da ITU são apresentados na Tabela 5.

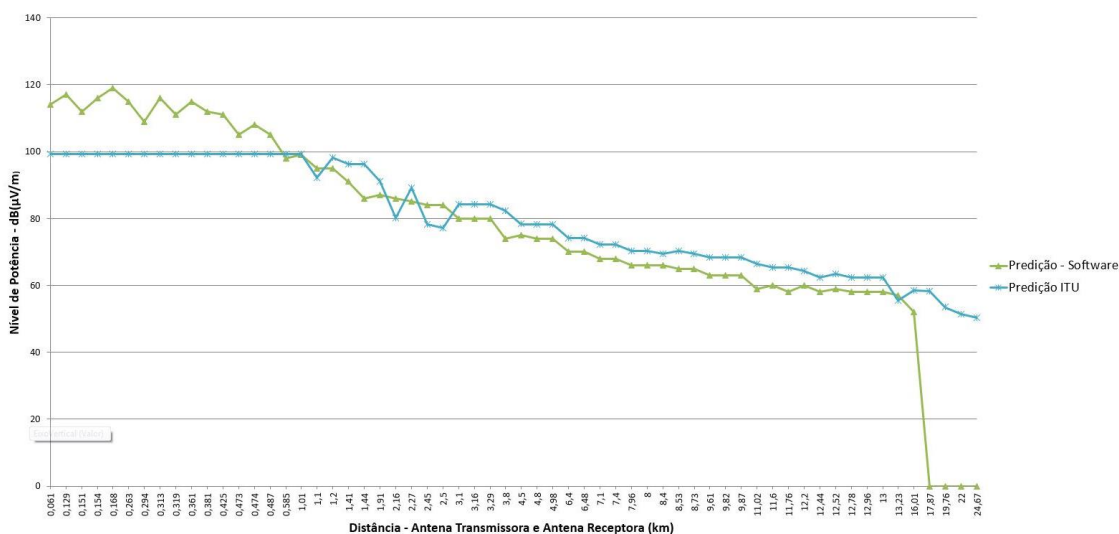
Tabela 5 – Dados de nível de potência obtidos.

Nível Medição	Latitude	Longitude	Distância (km)	Método ITU-R P. 1546-5	Predição Software
				Nível	
111,4	0,013806	-51,074611	0,061	99,2	114
116,5	0,014722	-51,073222	0,129	99,2	117
111,8	0,014694	-51,075333	0,151	99,2	112
115,9	0,013694	-51,072806	0,154	99,2	116
119,4	0,015306	-51,073639	0,168	99,2	119
115	0,014611	-51,071833	0,263	99,2	115
109,2	0,015944	-51,072528	0,294	99,2	109
120,2	0,012083	-51,071972	0,313	99,2	116
110,8	0,011417	-51,072889	0,319	99,2	111
119,9	0,016806	-51,07275	0,361	99,2	115
117,6	0,012806	-51,070806	0,381	99,2	112
124,4	0,017639	-51,073722	0,425	99,2	111
104,9	0,016639	-51,070972	0,473	99,2	105
113,7	0,014528	-51,069861	0,474	99,2	108
105,4	0,0175	-51,071639	0,487	99,2	105
97,9	0,010444	-51,070111	0,585	99,2	98
105,4	0,017139	-51,065861	1,01	99,2	99
111,2	0,006222	-51,067944	1,1	92,1	95
109,8	0,016944	-51,063167	1,2	98,2	95
101,7	0,0001667	-51,076833	1,41	96,2	91
101,1	0,001644	-51,061333	1,44	96,2	86
97,9	0,015194	-51,057000	1,91	91,2	87
99,3	0,029583	-51,062611	2,16	80,2	86
109,2	-0,004806	-51,082083	2,27	89,2	85
90,1	0,035972	-51,076861	2,45	78,2	84
91	0,035222	-51,066389	2,5	77,2	84
81,7	0,034528	-51,055028	3,1	84,2	80
85,3	0,030611	-51,051000	3,16	84,2	80
89,3	0,034472	-51,095444	3,29	84,2	80
72,5	0,042444	-51,054667	3,8	82,2	74
86,3	-0,026833	-51,078472	4,5	78,3	75
88	0,053167	-51,053778	4,8	78,3	74
91,5	0,031833	-51,115222	4,98	78,2	74
81,5	0,069472	-51,056028	6,4	74,2	70
78,7	-0,040667	-51,094806	6,48	74,2	70
75,2	0,078025	-51,069583	7,1	72,3	68
80,4	0,036861	-51,136861	7,4	72,2	68
84,1	-0,044972	-51,114972	7,96	70,3	66
83,1	-0,045361	-51,114889	8	70,3	66
82,6	0,087750	-51,090194	8,4	69,3	66
75,7	0,058306	-51,136722	8,53	70,3	65
69,8	-0,053639	-51,113556	8,73	69,3	65

69,9	-0,047444	-51,134972	9,61	68,3	63
73,3	0,080639	-51,132083	9,82	68,3	63
75,2	0,093861	-51,112806	9,87	68,3	63
68,9	-0,048139	-51,151306	11,02	66,3	59
75,2	0,102917	-51,129028	11,6	65,3	60
69,4	-0,043417	-51,170222	11,76	65,3	58
81,3	-0,003083	-51,183278	12,2	64,3	60
75,5	-0,043556	-51,170139	12,44	62,3	58
79,1	-0,023417	-51,180417	12,52	63,4	59
74	-0,036833	-51,177222	12,78	62,3	58
71,3	-0,041222	-51,176861	12,96	62,3	58
72,2	-0,035528	-51,180000	13	62,3	58
73,9	-0,042889	-51,178639	13,23	55,5	57
67,2	-0,016111	-51,214944	16,01	58,4	52
58,4	-0,035000	-51,227167	17,87	58,3	0
49,2	-0,054389	-51,238167	19,76	53,5	0
56,9	-0,065806	-51,256528	22	51,4	0
90,6	-0,086250	-51,272	24,67	50,4	0

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Figura 31, temos o comparativo entre a predição do *software*, correspondente à cor verde com formas triangulares, e a predição calculada pela aplicação da recomendação da ITU, correspondente à cor azul com marcações em asteriscos.

Figura 31 – Comparativo entre predição do *software* e predição ITU.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 6 encontram-se os valores do erro médio e desvio padrão para o gráfico da Figura 31.

Tabela 6 – Valores de erro médio e desvio padrão para gráfico de predição do *software* e predição ITU.

Erro médio	Desvio padrão
10,015053	12,528855

Fonte: Elaborado pelos autores.

Observa-se no gráfico da Figura 31, que o comportamento das duas curvas de predição demonstrou-se semelhante e com valores de níveis de potência bem próximos. A constância dos valores de nível de sinal para as distâncias menores que 1km na curva de predição da recomendação ITU resultam de um ajuste da mesma para tais distâncias, tendo em vista que a aplicação deste modelo de propagação é prevista para um afastamento entre as antenas de 1km a 1000km.

Já a queda dos níveis de sinal para zero em alguns pontos da curva de predição do programa ICS Telecom advém da mancha de propagação gerada, onde os pontos nas distâncias escolhidas não têm nível de sinal previsto, já que foi estabelecido um limite de sinal de 51 dBµV/m.

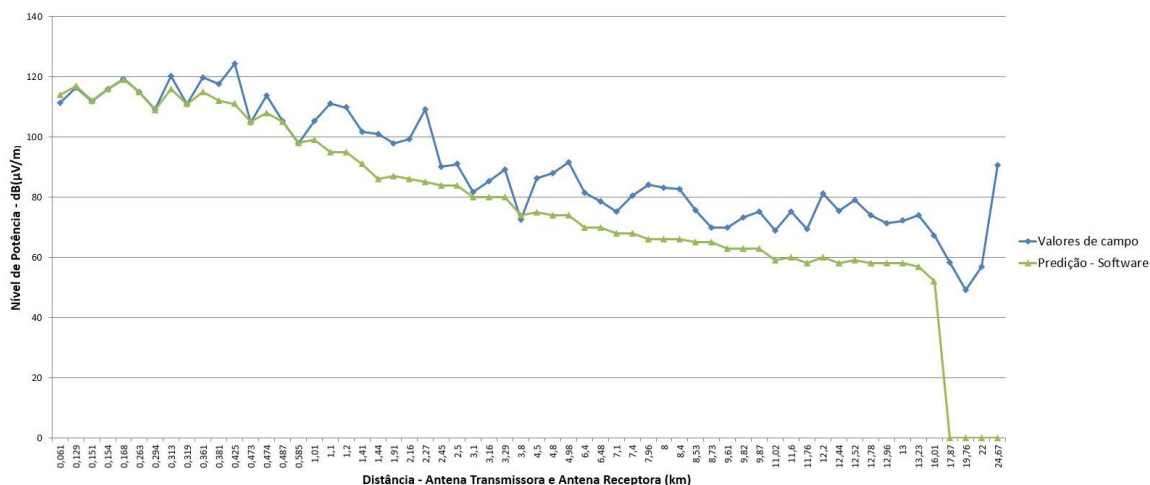
Pela análise dos valores da Tabela 6, nota-se que o erro médio e o desvio padrão do erro médio mostraram-se pequenos, portanto comprovando a similaridade entre as curvas.

Além disso, foi empregado o teste t para validar a análise dos valores presentes na Figura 31. Para isso, utilizando o Excel®, calculou-se o valor do teste t para duas amostras em par para médias por meio da ferramenta de análise de dados. Esse resultado deve ser comparado com a tabela presente no Anexo B, definindo a probabilidade para o teste, sendo de 5% e n-1, sendo n como o número de graus de liberdade, que é o número de pares de amostras. Assim, o resultado aproximado é de 2,0003, sendo este constante para todas as análises.

Com isso, encontrou-se um valor calculado do teste t de 1,3201. O teste t afirma que, quando o valor da tabela é maior que o valor calculado, a hipótese nula não deve ser rejeitada. Assim, a diferença entre as amostras não é significativa.

Na Figura 32, temos o comparativo entre a predição do *software* ICS Telecom, correspondente à cor verde com formas triangulares, e os valores das medidas reais coletadas em campo, correspondente à cor azul com formas losangulares.

Figura 32 – Comparativo entre predição do *software* e medidas de campo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 7 encontram-se os valores de erro médio e desvio padrão do erro médio para o gráfico da Figura 32.

Tabela 7 – Valores de erro médio e desvio padrão para o gráfico de predição do *software* e medidas de campo.

Erro médio	Desvio padrão
13,108333	15,603936

Fonte: Elaborado pelos autores.

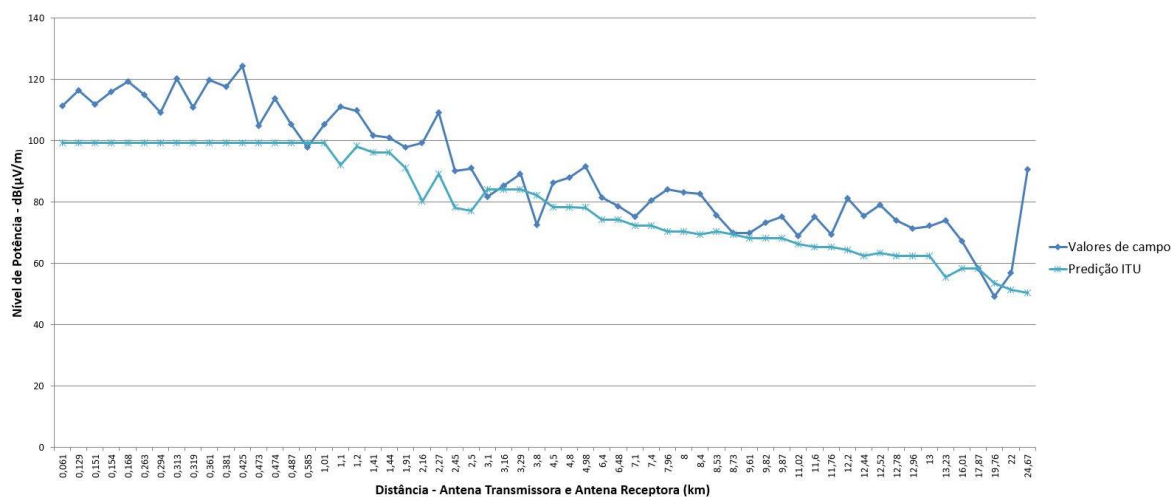
Pela observação do gráfico da Figura 32, nota-se uma diferença significativa nos níveis das duas curvas, porém mantendo o mesmo comportamento. Também, a curva de predição mantém um comportamento mais sutil se comparado com as variações de nível da curva das medidas em campo.

A queda no nível da predição do ICS Telecom ao final da curva se dá pela mesma justificativa apresentada no gráfico anterior. Ainda, pela análise dos valores da Tabela 7, observa-se um crescimento do erro médio e do desvio padrão se comparado com os valores anteriores, em razão da diferença acentuada do nível de sinal das medições que se encontram bem acima dos apresentados pelo *software*.

Fazendo o teste t para os resultados presentes na Figura 32, encontrou-se o valor de 6,3586. Esse valor é maior que o valor encontrado na tabela e, com isso, a diferença entre esses resultados tende a ser mais significativa.

Já na Figura 33, temos o comparativo entre a predição calculada pelos autores a partir dos passos fornecidos pela recomendação da ITU e as medidas realizadas em campo.

Figura 33 – Comparativo entre predição ITU e medidas de campo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Na Tabela 8 encontram-se os valores de erro médio e desvio padrão do erro médio do gráfico da Figura 33.

Tabela 8 – Valores de erro médio e desvio padrão para gráfico de predição ITU e medidas de campo.

Erro médio	Desvio padrão
10,823008	7,2063106

Fonte: Elaborado pelos autores.

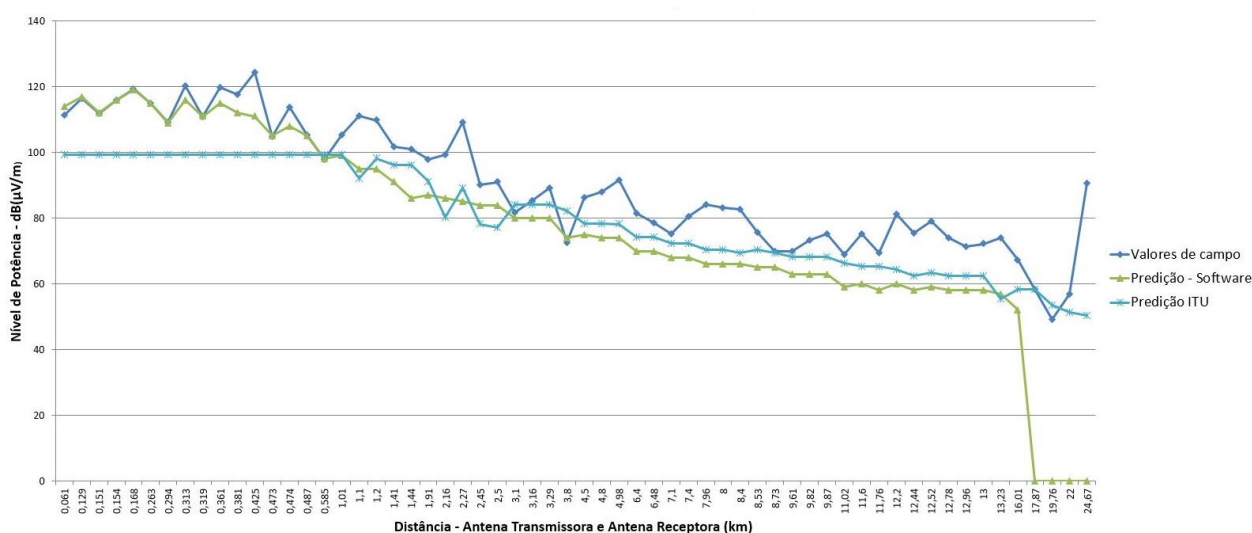
Observa-se no gráfico da Figura 33 que os valores das medidas reais ainda se mantêm consideravelmente acima dos valores preditos pela recomendação da ITU, entretanto com uma diferença bem menos acentuada se comparado com os valores do gráfico da Figura 32.

Por fim, aplicando o teste t para estes resultados, encontrou-se o valor de 9,8534. Assim, como esse valor foi maior que o valor tabelado, a diferença entre os resultados comparados também tende a ser significativa.

Pelos valores da Tabela 8 podemos confirmar isso, visto que o erro médio e o desvio padrão diminuíram em relação aos apresentados anteriormente.

A Figura 34 mostra as três curvas apresentadas em um gráfico.

Figura 34 – Comparativo entre as três curvas analisadas.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Observando o gráfico da Figura 34, percebe-se melhor o quanto a curva de medição está acima das duas predições analisadas. Supõe-se que esse aumento do nível de potência das medidas de campo pode ser em função de algum ganho introduzido pelo equipamento utilizado nas medições. Não se descarta, também, a hipótese de a emissora estar usando uma potência maior do que a mencionada nos relatórios da Anatel, o que levou ao aumento desse nível. Como também, a utilização de uma estação repetidora no caminho para ampliação do sinal pode ter elevado o mesmo, ocasionando essa alteração.

Entretanto, verifica-se que mesmo com essa elevação, as curvas obtêm o mesmo comportamento, diferindo apenas no nível do sinal, principalmente se comparadas as predições do *software* e da recomendação ITU que se mantêm muito próximas.

10 CONCLUSÃO

O desenvolvimento do trabalho possibilitou analisar a cobertura da TV Digital no município de Macapá para averiguar se todas as localidades do município estão sendo contempladas pelo sinal digital. Com isso, permitiu-se fazer medidas de campo e análises de predição, a fim de comparar esses resultados e verificar se eles estão de acordo com as recomendações existentes na literatura.

Ao fazer as medidas de campo, verificou-se um elevado valor de potência, principalmente em torno da antena transmissora. Ainda, ao fazer as predições com o *software* e com o modelo da ITU-R P.1546-5, percebeu-se que a potência do emissora em questão, na maioria dos pontos, foi maior que os valores preditos. Com base nas comparações, percebeu-se que a emissora está cobrindo toda a área de Macapá de forma eficaz.

Ao coletar todos os dados por meio das medidas de campo utilizando o analisador do espectro e a antena UHF, além de conseguir utilizar a Recomendação ITU-R P. 1546-5 junto do *software* ISC Telecom para fazer as predições, foi possível avaliar a cobertura do sinal da TV Digital em Macapá. Diante disso, os objetivos do trabalho foram realmente alcançados.

Com as pesquisas do trabalho, conseguiu-se aprender um pouco das leis que regulamentam a cobertura de TV Digital. Além disso, a prática do trabalho permitiu conhecimento acerca dos equipamentos e do dia-a-dia de engenheiros e fiscais da área das telecomunicações, além de conhecer melhor o trabalho da Anatel.

Para trabalhos futuros, sugere-se a investigação de outros modelos de propagação que sejam mais ajustáveis ao clima e a morfologia da região onde se encontra Macapá. Também, sugere-se o georreferenciamento de possíveis áreas onde ocorram regiões de sombra para recepção de TV Digital, correlacionadas com características urbanas, como edifícios e lagos.

REFERÊNCIAS

ALONSO, M.; FINN, E.J. **Física: Um curso universitário-Campos e ondas**. 2ª edição – São Paulo:Blucher, 2018.

ATDI. **Broadcast**. Disponível em: < <https://atdi-group.com/broadcast/> > Acessado em: 24, Janeiro 2020.

BORBA, M. A. C. **Medição de cobertura no sistema brasileiro de TV digital terrestre**. 2011 - Dissertação de Mestrado. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

CARVALHO, J.N. **Propagação em áreas urbanas na faixa de UHF: aplicação ao planejamento de sistemas de TV digital**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Brasil, 2003.

CARVALHO, R.M. **Comunicações Analógicas e Digitais**. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

CASTRO, B. S. **Modelo de propagação para redes sem fio fixas na banda de 5, 8 GHz em cidades típicas da região amazônica**. Universidade Federal do Pará, Belém, 2010.

CAVALCANTI, J. F. B. **Medidas de Rádio Propagação em UHF em ambientes suburbanos para TV digital: Estudo de Cobertura para recepção fixa**. Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

CORRÊA, F. R. S. N. **A Televisão Analógica no Brasil**. 2011

FERNANDES, J.; LEMOS, G; SILVEIRA, G. **Introdução a televisão digital interativa: Arquitetura, Protocolos, Padrões e Práticas**. Apresentado na jornada de atualização em informática do congresso da sociedade brasileira de computação. JAI-SBC, em Salvador – BA – Agosto de 2004. Anais da JAI – SBC, 2004.

FERNANDES, T. G.; PANAZIO, A. N. **Do analógico ao digital: amostragem, quantização e codificação**. II Simpósio de Iniciação Científica da Universidade Federal do ABC-SIC-UFABC, 2009.

FILHO, A. B. **O sistema Brasileiro de televisão digital: do sonho a realidade**. Instituto Euvaldo Lodi, Núcleo central. TV digital: qualidade e interatividade/IEL.NC. Brasília, 2007. P. 17.

FREITAS, I. V. B. **Televisão digital: que imagem terá o modelo brasileiro?** Brasília, 2004.

FREZEL, L. E. **Fundamentos de comunicação eletrônica: linhas, micro-ondas e antenas**. Porto Alegre: AMGH, 2013.

GIACOMIN, J.C.; VASCONCELOS, F.H. **Qualidade da Medição de Intensidade de Sinal nas Comunicações de uma Rede de Sensores Sem Fios: uma Abordagem da Camada Física**. 2006. Infocamp.

HAYKIN, S.; MOHER, M. **Sistemas de Comunicação**. Porto Alegre: Bookman, 2011.

INATEL. **Sinais e Sistemas em TV Digital**. Módulo 2. 2007 – Curso de Sistemas de TV Digital.

ITU-R. **Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3 000 MHz**. Recommendation P.1546-5, 2013.

JESZENSKY, P. J. E. **Sistemas telefônicos**. Barueri: Manole LTDA, 2004.

JUNIOR, H. C. **Sistema de transmissão no padrão brasileiro de TV digital**. Departamento de Engenharia de Telecomunicações - Universidade Federal Fluminense, 2008.

LOPES, D. M. M. S. **Sistema Brasileiro de Tv Digital: Caminhos percorridos e implantação**. 2007 – Universidade Federal do Piauí.

MARTINS, M.J.; NEVES, I.V. **Propagação e radiação de ondas eletromagnéticas**. 2ª edição – Lisboa: Lidel, 2015.

MATTOS, S. **A história da TV Brasileira** (4º edição) - Editora Vozes, 2002.

MAYRINK, M. A. S. **Uma Nova Abordagem da Recomendação ITU-R P. 1546 para a Predição de Cobertura em Enlaces Curtos sobre Terrenos Mistos**. Universidade de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

MEDEIROS, J. C. O. **Princípios de Telecomunicações: Teoria e Prática**. 2ª edição. São Paulo: Érica, 2007.

MOECKE, M. **PCM - Modulação por Código de Pulso**. São José, 2006.

NETO, A. C. **TV Digital II: Entrelaçadores Temporais para Sistemas de Transmissão**. UNICAMP, Campinas-SP, 2008.

OLIVEIRA, E. C. R., ALBUQUERQUE, C. V. N. **TV Digital Interativa: Padrões para uma nova era**. 2005 - Anais da V Escola Regional de Informática RJ/ES. Sociedade Brasileira de Computação.

PAES, A.; ANTONIAZZI, R.; SAADE, D. M. **Padrões de middleware para tv digital**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Niterói, 2005.

PEREIRA, S.D.D. **Propagação de ondas eletromagnéticas em ambientes urbanos**. 2014. Tese de Doutorado. Tese de Mestrado apresentada no Instituto Superior Técnico, Lisboa.

PICCIONI, C. A; BECKER, V.; MONTEZ, C. (2005). **Juri virtual: uma aplicação de governo eletrônico usando televisão digital interativa**. In: Conferência Sul-Americana em Ciência e Tecnologia Aplicada ao Governo Eletrônico. Florianópolis: Ijuris. p. 19-32.

PINTO, E. L.; DE ALBUQUERQUE, C. P. **A técnica de transmissão OFDM**. Revista Científica Periódica-Telecomunicações ISSN, V. 1516, 2002.

REVISTA MACKENZIE DE ENGENHARIA E COMPUTAÇÃO. **Padrões de TV Digital**. Ano 5, n. 5, p. 13-96.

ROCHA, A. S. **Otimização Multiobjetivo e Multirestrição Aplicada no Planejamento de Redes de Frequência Única**. 2013.

SÁ, A. **A implementação da Televisão Digital Terrestre em Portugal**. 2012 - Uma perspectiva técnica das transmissões televisivas digitais. p. 57-97, 2012.

SADIKU, M.N.O. **Elementos do eletromagnetismo**. 3ª edição – Porto Alegre: Bookman, 2004.

SANTOS, P. V. F.; LUZ, C. R. M. **História da televisão: Do analógico ao digital**. *Inovcom*, v. 4, n. 1, p. 34-46, 2013.

SETTE, G. M. **A Evolução da Televisão Brasileira e os Novos Caminhos para o Futuro**. In: CELACOM 2010, 2010, São Paulo. XIV Colóquio Internacional da Escola Latino-Americana de Comunicação, 2010. Disponível em <div><div>A evolução da televisão brasileira e os novos caminhos para o futuro</div><div><iframe frameborder="0" style="border-bottom: 2px solid #eee; border-top: 0px;" scrolling="no" src="http://docplayer.com.br/docview/28/12517839/" width="728" height="1040" allowfullscreen></iframe></div></div>.

SEYBOLD, J.S. **Introduction to RF propagation**. 1ª edição - John Wiley & Sons, 2005.

SILVA, S. P. **Medidas e estudo de rádio propagação para TV digital na cidade de Belém**. 2015 – Universidade Federal do Pará.

STOLFI, G. **Princípios de televisão digital**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016.

ANEXO A – Procedimento para aplicação da Recomendação ITU-R P.1546-5

Conforme a Recomendação da ITU-R P.1546-5 (2013), o passo a passo fornecido abaixo destina-se a ser aplicado aos valores derivados das tabelas de intensidade de campo *versus* distância disponíveis no Radiocommunication Bureau. O Anexo 5, intitulado *Additional Information and Methods for Implementing the Prediction Method*, que será mencionado durante este passo a passo, pode ser encontrado na Recomendação citada acima.

No entanto, este passo a passo também pode ser aplicado a valores obtidos a partir das curvas, caso em que procedimento de interpolação à distância do passo 8.1.5 não é necessário. A Tabela 8 contém uma lista mínima de parâmetros de entrada (e seus limites) que serviriam de base para derivar valores das tabelas de intensidade do campo *versus* distância. O procedimento passo a passo segue.

Tabela 9 – Lista de parâmetros de entrada e seus limites.

Parâmetros	Definição	Unidade	Limites
f	Frequência de Operação	MHz	30 a 3 000 MHz
d	Distância de percurso	km	1 – 1000 km
p	Porcentagem de tempo	m	1-50%
$h1$	Altura da antena de Transmissão. Definido pelo Anexo 5, §3, as equações (4 e 7) limites são definidos no §4.1.	m	<u>Terra</u> - Não há limite, limite máximo de 3 000 m. <u>Mar</u> - não inferior a 1 m, limite máximo de 3 000 m.
h_a	Altura da antena Transmissão acima do solo. Definidas no Anexo 5, § 3.1.1. Os limites são definidos no Anexo 5, § 3°	m	Maior que 1. (Deve ser maior que altura das obstruções).
h_b	Altura da antena da base acima da altura do terreno em média 0,2 d e d km, onde d é inferior a 15 km e se tenha informações sobre o terreno.	m	Nenhum - mas este parâmetro só existe para os caminhos de terra onde d < 15 km.
h_2	Altura da antena móvel acima do solo. Definido no Anexo 1, §10.	m	<u>Terra</u> - não inferior a 1 m, e menos de 3000 m. <u>Mar</u> - Não menos de 3 m, e menos de 3000 m.
R1	Altura desordem representante (em torno transmissor).	m	Nenhum
R2	Altura desordem representante (em torno do receptor).	m	Nenhum
θ_{ca}	Ângulo de desobstrução	Graus	0.55° a 40°
$\theta_{eff} \theta_{eff1} \theta_{eff2}$	Transmissor eficaz ângulos de desobstrução de terreno. Anexo 5, §9.	Graus	Deve ser positivo

Fonte: ITU-R (2013).

Se a distância horizontal necessária for de 0,04 km ou menos, comece no passo 17. Se a distância horizontal necessária for maior que 0,04 km e menor que 1 km, os passos de 1 a 16 devem ser seguidos com d definido como 1 km, após os quais, os demais passos devem ser seguidos com d definido para o valor necessário. Caso contrário, todos os passos devem ser seguidos com d definido para o valor necessário.

Passo 1: Determine o tipo de caminho de propagação como terra, mar frio ou mar quente. Se o caminho for misto, determine dois tipos de caminho que são considerados como primeiro e segundo tipos de propagação. Se o caminho puder ser representado por um único tipo, ele será considerado o primeiro tipo de propagação e o método de caminho misto fornecido no passo 11 não será necessário.

Passo 2: Para qualquer porcentagem de tempo (no intervalo de 1% a 50%), determine duas porcentagens de tempo nominais da seguinte maneira:

- Porcentagem de tempo desejado > 1 e < 10 , as porcentagens nominais inferiores e superiores são 1 e 10, respectivamente;
- Porcentagem de tempo desejado > 10 e < 50 , as porcentagens nominais mais baixas e mais altas são 10 e 50, respectivamente.

Se a porcentagem necessária de tempo for igual a 1% ou 10% ou 50%, esse valor deverá ser considerado como a menor porcentagem nominal de tempo e o processo de interpolação do passo 10 não será necessário.

Passo 3: Para qualquer frequência desejada (na faixa de 30 a 3.000 MHz), determine duas frequências nominais da seguinte maneira:

- Onde a frequência desejada < 600 MHz, as frequências nominais inferiores e superiores são 100 e 600 MHz, respectivamente;
- Onde a frequência desejada > 600 MHz, as frequências nominais mais baixas e mais altas são 600 e 2 000 MHz, respectivamente.

Se a frequência desejada for igual a 100 ou 600 ou 2000 MHz, esse valor deve ser considerado como a frequência nominal mais baixa e o processo de interpolação / extrapolação do passo 9 não é necessário.

Passo 4: Determine as distâncias nominais mais baixas e mais altas da Tabela 9 mais próximas da distância requerida. Se a distância requerida coincidir com um valor na Tabela 9, isso deve ser considerado como a menor distância nominal e o processo de interpolação do passo 8.1.5 não é necessário.

Tabela 10 – Valores de distância (km) utilizados nas tabelas de intensidade de campo elétrico.

1	14	55	140	375	700
2	15	60	150	400	725
3	16	65	160	425	750
4	17	70	170	450	775
5	18	75	180	475	800
6	19	80	190	500	825
7	20	85	200	525	850
8	25	90	225	550	875
9	30	95	250	575	900
10	35	100	275	600	925
11	40	110	300	625	950
12	45	120	325	650	975
13	50	130	350	675	1000

Fonte: ITU-R (2013).

Passo 5: Para o primeiro tipo de propagação, siga os passos 6 a 11.

Passo 6: Para o menor tempo percentual nominal, siga os passos 7 a 10.

Passo 7: Para a frequência nominal mais baixa, siga os passos 8 e 9.

Passo 8: Obtenha a intensidade do campo excedida em 50% dos locais para uma antena receptora / móvel na altura da desordem representativa, R2, acima do solo para a distância necessária e a altura da antena transmissora / base, como a seguir:

Passo 8.1: Para uma antena de transmissão / altura base h1 igual ou superior a 10 m, siga os passos 8.1.1 a 8.1.6:

Passo 8.1.1: Determine os valores nominais h1 inferiores e superiores usando o método indicado no Anexo 5, § 4.1. Se h1 coincidir com um dos valores nominais 10, 20, 37,5, 75, 150, 300, 600 ou 1200 m, isso deve ser considerado como o valor

nominal mais baixo de h_1 e o processo de interpolação do passo 8.1.6 não é necessário.

Passo 8.1.2: Para o valor nominal mais baixo de h_1 , siga os passos 8.1.3 a 8.1.5.

Passo 8.1.3: Para o valor nominal mais baixo da distância, siga o passo 8.1.4.

Passo 8.1.4: Obtenha a intensidade do campo excedida em 50% dos locais para uma antena receptora / móvel na altura da desordem representativa, R_2 , para os valores exigidos de distância, d e altura da antena transmissora / base, h_1 .

Passo 8.1.5: Se a distância requerida não coincidir com a distância nominal mais baixa, repita o passo 8.1.4 para a distância nominal mais alta e interpole as duas forças de campo para distância usando o método indicado no Anexo 5, § 5.

Passo 8.1.6: Se a altura necessária da antena transmissora / base, h_1 , não coincidir com um dos valores nominais, repita os passos 8.1.3 a 8.1.5 e interpole / extrapole para h_1 usando o método indicado no Anexo 5, § 4.1. Se necessário, limite o resultado ao máximo indicado em Anexo 5, § 2.

Passo 8.2: Para uma antena de transmissão / altura h_1 inferior a 10 m, determine a intensidade do campo para a altura e distância necessárias, usando o método indicado no anexo 5, § 4.2. Se h_1 for menor que zero, o método indicado no anexo 5, § 4.3 também deve ser usado.

Passo 9: Se a frequência requerida não coincidir com a frequência nominal mais baixa, repita o passo 8 para a frequência nominal mais alta e interpole ou extrapole as duas forças de campo usando o método indicado no Anexo 5, § 6. Se necessário, limite o resultado ao parâmetro intensidade máxima do campo, conforme indicado no anexo 5, § 2.

Passo 10: Se o tempo percentual necessário não coincidir com o tempo percentual nominal mais baixo, repita os passos 7 a 9 para o tempo percentual nominal mais alto e interpole as duas forças de campo usando o método fornecido no parágrafo 7 do Anexo 5.

Passo 11: Se a previsão for para um caminho misto, siga o procedimento passo a passo fornecido no Anexo 5, § 8. Isso requer o uso dos passos 6 a 10 para

caminhos de cada tipo de propagação. Observe que, se existirem diferentes seções do caminho classificadas como mar frio e quente, todas as seções do mar devem ser classificadas como mar quente.

Passo 12: Se houver informações sobre o ângulo de afastamento do terreno em uma antena receptora / móvel adjacente ao terreno, corrija a intensidade do campo para o ângulo de afastamento do terreno no receptor / móvel usando o método fornecido no Anexo 5, § 11.

Passo 13: Calcule a força estimada do campo devido à dispersão troposférica usando o método fornecido no Anexo 5, § 13, e obtenha o máximo de E e Ets.

Passo 14: Corrija a intensidade do campo para receber / altura da antena móvel h2 usando o método fornecido no Anexo 5, § 9.

Passo 15: Se houver confusão ao redor do terminal de transmissão / base, mesmo que a uma altura mais baixa do que a antena, corrija seu efeito usando o método indicado no Anexo 5, § 10.

Passo 16: Aplique a correção do caminho da inclinação dada no Anexo 5, § 14.

Passo 17: O Anexo 5, § 15, fornece o método para caminhos com menos de 1 km. Conforme observado imediatamente antes do passo 1 acima, pode ser necessário seguir os passos de 1 a 16 para $d = 1$ km.

Passo 18: Se a intensidade do campo em uma antena receptora / móvel adjacente à terra exceder em locais percentuais diferentes de 50%, for necessária, corrija a intensidade do campo para a porcentagem exigida de locais usando o método fornecido no Anexo 5, § 12.

Passo 19: Se necessário, limite a intensidade do campo resultante ao máximo indicado no Anexo 5, § 2. Se um cálculo de trajetória mista tiver sido feito por um tempo percentual inferior a 50%, será necessário calcular a força máxima do campo por interpolação linear entre os valores terrestres e marítimos. Isto é dado por:

$$E_{max} = E_{fs} + \frac{d_s E_{se}}{d_{total}} \quad dB(\mu V/m)$$

Onde:

E_{fs} : intensidade de campo no espaço livre dado pela equação (2) do Anexo 5, §2.

E_{se} : aprimoramento de campo elétrico em pequenas percentagens de tempo para percurso marítimo dado pela equação (3) no Anexo 5, §2.

d_s : distância total mar (km)

d_{total} : a distância total do percurso (km).

Passo 20: Se necessário, converta a intensidade do campo em perda básica de transmissão equivalente para o caminho usando o método fornecido no Anexo 5, § 17.

ANEXO B – Tabela de distribuição de t-Student segundo os graus de liberdade e uma dada probabilidade num teste bicaudal

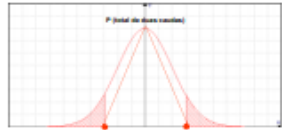


Diagrama de uma distribuição normal bicaudal com áreas de rejeição marcadas em vermelho. O eixo horizontal representa o teste estatístico, e o eixo vertical representa a densidade de probabilidade. As áreas sob a curva fora dos limites críticos $-t_{\text{test}}$ e t_{test} são sombreadas em vermelho, representando a probabilidade α de rejeição da hipótese nula.

Nº de graus de liberdade	Probabilidade para um teste bicaudal													
	0,95	0,90	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
1	0,0787	0,1584	0,3249	0,5095	0,7265	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,657	636,619
2	0,0708	0,1421	0,2887	0,4447	0,6172	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,0681	0,1366	0,2767	0,4242	0,5844	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,0667	0,1338	0,2707	0,4142	0,5686	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,0659	0,1322	0,2672	0,4082	0,5594	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,0654	0,1311	0,2648	0,4043	0,5534	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,0650	0,1303	0,2632	0,4015	0,5491	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,0647	0,1297	0,2619	0,3995	0,5459	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,0645	0,1293	0,2610	0,3979	0,5435	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,0643	0,1289	0,2602	0,3966	0,5415	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,0642	0,1286	0,2596	0,3956	0,5399	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370
12	0,0640	0,1283	0,2590	0,3947	0,5386	0,6955	0,8726	1,0832	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	4,3178
13	0,0639	0,1281	0,2586	0,3940	0,5375	0,6938	0,8702	1,0795	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	4,2208
14	0,0638	0,1280	0,2582	0,3933	0,5366	0,6924	0,8681	1,0763	1,3450	1,7613	2,1448	2,6245	2,9768	4,1405
15	0,0638	0,1278	0,2579	0,3928	0,5357	0,6912	0,8662	1,0735	1,3406	1,7531	2,1314	2,6025	2,9467	4,0728
16	0,0637	0,1277	0,2576	0,3923	0,5350	0,6901	0,8647	1,0711	1,3368	1,7459	2,1199	2,5835	2,9208	4,0150
17	0,0636	0,1276	0,2573	0,3919	0,5344	0,6892	0,8633	1,0690	1,3334	1,7396	2,1098	2,5669	2,8982	3,9651
18	0,0636	0,1274	0,2571	0,3915	0,5338	0,6884	0,8620	1,0672	1,3304	1,7341	2,1009	2,5524	2,8784	3,9216
19	0,0635	0,1274	0,2569	0,3912	0,5333	0,6876	0,8610	1,0655	1,3277	1,7291	2,0930	2,5395	2,8609	3,8834
20	0,0635	0,1273	0,2567	0,3909	0,5329	0,6870	0,8600	1,0640	1,3253	1,7247	2,0860	2,5280	2,8453	3,8495
21	0,0635	0,1272	0,2566	0,3906	0,5325	0,6864	0,8591	1,0627	1,3232	1,7207	2,0796	2,5176	2,8314	3,8193
22	0,0634	0,1271	0,2564	0,3904	0,5321	0,6858	0,8583	1,0614	1,3212	1,7171	2,0739	2,5083	2,8188	3,7921
23	0,0634	0,1271	0,2563	0,3902	0,5317	0,6853	0,8575	1,0603	1,3195	1,7139	2,0687	2,4999	2,8073	3,7676
24	0,0634	0,1270	0,2562	0,3900	0,5314	0,6848	0,8569	1,0593	1,3178	1,7109	2,0639	2,4922	2,7969	3,7454
25	0,0633	0,1269	0,2561	0,3898	0,5312	0,6844	0,8562	1,0584	1,3163	1,7081	2,0595	2,4851	2,7874	3,7251
26	0,0633	0,1269	0,2560	0,3896	0,5309	0,6840	0,8557	1,0575	1,3150	1,7056	2,0555	2,4786	2,7787	3,7066
27	0,0633	0,1268	0,2559	0,3894	0,5306	0,6837	0,8551	1,0567	1,3137	1,7033	2,0518	2,4727	2,7707	3,6896
28	0,0633	0,1268	0,2558	0,3893	0,5304	0,6834	0,8546	1,0560	1,3125	1,7011	2,0484	2,4671	2,7633	3,6739
29	0,0633	0,1268	0,2557	0,3892	0,5302	0,6830	0,8542	1,0553	1,3114	1,6991	2,0452	2,4620	2,7564	3,6594
30	0,0632	0,1267	0,2556	0,3890	0,5300	0,6828	0,8538	1,0547	1,3104	1,6973	2,0423	2,4573	2,7500	3,6460
60	0,0630	0,1262	0,2545	0,3872	0,5272	0,6786	0,8477	1,0455	1,2958	1,6706	2,0003	2,3901	2,6603	3,4602
90	0,0629	0,1260	0,2541	0,3866	0,5263	0,6772	0,8456	1,0424	1,2910	1,6620	1,9867	2,3685	2,6316	3,4019
120	0,0628	0,1259	0,2539	0,3862	0,5258	0,6765	0,8446	1,0409	1,2886	1,6577	1,9799	2,3578	2,6174	3,3735
150	0,0628	0,1259	0,2538	0,3861	0,5255	0,6761	0,8440	1,0400	1,2872	1,6551	1,9759	2,3515	2,6090	3,3566
180	0,0628	0,1258	0,2537	0,3859	0,5253	0,6759	0,8436	1,0394	1,2863	1,6534	1,9732	2,3472	2,6034	3,3454
210	0,0628	0,1258	0,2537	0,3858	0,5252	0,6757	0,8433	1,0390	1,2856	1,6521	1,9713	2,3442	2,5994	3,3375
240	0,0628	0,1258	0,2536	0,3858	0,5251	0,6755	0,8431	1,0387	1,2851	1,6512	1,9699	2,3420	2,5965	3,3315
270	0,0628	0,1258	0,2536	0,3857	0,5250	0,6754	0,8430	1,0384	1,2847	1,6505	1,9688	2,3402	2,5942	3,3269
300	0,0628	0,1258	0,2536	0,3857	0,5250	0,6753	0,8428	1,0382	1,2844	1,6499	1,9679	2,3388	2,5923	3,3233
400	0,0627	0,1257	0,2535	0,3856	0,5248	0,6751	0,8425	1,0378	1,2837	1,6487	1,9659	2,3357	2,5882	3,3150
500	0,0627	0,1257	0,2535	0,3855	0,5247	0,6750	0,8423	1,0375	1,2832	1,6479	1,9647	2,3338	2,5857	3,3101
800	0,0627	0,1257	0,2534	0,3855	0,5246	0,6748	0,8421	1,0371	1,2826	1,6468	1,9629	2,3310	2,5820	3,3027