

Analysis of UHF Signal Propagation in the City of Uberlândia, Using the Propagation Model ITU-R P.1546, Okumura-Hata and LogDistância

T. Santos, *Member, IEEE*, and G. Carrijo, *Member, IEEE*

Abstract—This article describes the end result of comparative analysis of the spread of Digital TV signals, held in Uberlândia, Minas Gerais, between the months of May of October 2015. Using data collected from four spanning regional and local stations, with different technical characteristics, the comparative analyses were performed considering the model adopted for the preparation of technical projects of Sistema Brasileiro de Televisão Digital – SBTVD ITU-R P.1546, Okumura-Hata and LogDistância.

Index Terms—Propagation, ITU-R P.1546, Okumura-Hata, LogDistância, UHF.

I. INTRODUÇÃO

EM 3 de abril de 1950, na cidade de São Paulo, iniciou-se o processo de transmissão, no Brasil, do meio de comunicação que hoje está presente em 97% dos lares do país: a televisão (TV) [1] [2]. No início, as transmissões eram feitas em preto e branco, com imagens chuviscadas e áudio mono. O advento de novas tecnologias aprimorou os processos de transmissão, produção, captura e geração das imagens da emissora de TV. Em 19 de fevereiro de 1972, ocorreu, na cidade de Porto Alegre, a primeira transmissão a cores no Brasil [1].

Com a evolução da eletrônica, os circuitos integrados (CI) e os amplificadores operacionais (AO), foi possível o surgimento da tecnologia digital. No dia 2 de dezembro de 2007, na cidade de São Paulo, foi iniciada a transmissão do sinal de TV digital no Brasil [3]. Essa tecnologia veio substituir a analógica, com grandes diferenciais e desafios a serem enfrentados, como a melhoria da qualidade da imagem e do som, além da interatividade com o telespectador [1] [4].

Dentre as diferenças entre as tecnologias analógica e digital, pode-se citar as seguintes: (a) a TV digital possui um sinal mais estável que a analógica, sem chuviscos na tela, ruído fantasma, interferências externas, chiados e cores borradas que aparecem no sinal analógico; (b) a qualidade do áudio 5.1 é superior ao estéreo; (c) interatividade; (d) existência de canais adjacentes; (e) múltipla programação; (f) dispositivos móveis [1] [5] [6] [4]. Todas essas diferenças listadas para o sinal digital são possíveis devido ao melhor aproveitamento do espectro [4].

A superioridade do sinal digital ao analógico é comprovada tendo em vista que possuem a mesma largura de faixa (6 MHz)

[1] [6] [7] [4]. Desse modo, para que o telespectador possa utilizar as vantagens da TV digital, é necessário ter uma antena UHF (*Ultra High Frequency*) externa de boa qualidade, que proporcione uma imagem nítida e clara na TV.

O sistema de televisão digital ISDB-Tb (*Integrated Services Digital Broadcasting – Terrestrial version B*), entrou em operação comercial em 2007 [3]. Desde então as emissoras de televisão brasileiras começaram a enfrentar desafios para a implantação do sistema digital, como a manutenção da abrangência do sinal analógico com a tecnologia digital; as dificuldades para garantir a qualidade do sinal em diferentes pontos da cidade; ter uma boa recepção do sinal em ambientes fechados onde não se tem antena UHF externa e uma recepção móvel com alta qualidade. Nesse contexto, as emissoras passarão por transformações evidentes, buscando sempre manter a qualidade do sinal e a cobertura da região urbana [1].

Devido ao crescimento do setor de construção civil no Brasil ampliou-se a quantidade de obstáculos e regiões de sombra entre transmissor e receptor. Desse modo, as emissoras de TV têm de realizar levantamentos constantes da propagação do sinal para encontrar soluções que minimizem tais problemas, como a implantação de repetidores de sinal (*gap-fillers*) [1].

Uma ferramenta que auxilia o engenheiro projetista na elaboração do projeto técnico, a fim de minimizar custos, são os softwares de propagação, capazes de plotar manchas do sinal UHF na região urbana. Outra análise que pode ser feita com os softwares de propagação é a comparação das manchas dos sinais UHF e VHF (*Very High Frequency*), com o intuito de identificar o método de propagação adequado para a obtenção de um modelo mais real/preciso [1].

A análise da qualidade do sinal da TV digital de Uberlândia-MG é necessária devido a atualização da tecnologia analógica para a digital e o desligamento do sinal analógico no país, previsto para final do ano de 2018, conforme determinação da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) e do Ministério das Comunicações do Brasil, publicada em 29 de julho de 2013, pelo o decreto federal 8.061, com cronograma de desligamento do sinal de TV analógica [4] [8] [9] [10]. Além disso, os modelos de propagação existentes foram criados para cidades de grande porte, devido a isto é importante a verificação do comportamento do sinal digital na localidade.

Nos últimos anos, a partir do decreto do Sistema Brasileiro de TV Digital publicado, muitos trabalhos foram desenvolvidos para analisar o comportamento do sinal UHF nas capitais do Rio de Janeiro [11] [12], São Paulo [11] [2] [4], Belo Horizonte [11], Goiânia [13] e Curitiba [14]. Nota-se que

T. N. Santos is with the Department of Electrical Engineering, Federal University of Uberlândia, Uberlândia, MG, 38400-902 BRAZIL e-mail: tiagonunes@ufu.br.

G. A. Carrijo is with Federal University of Uberlândia.

os estudos que foram realizados foram para grandes centros urbanos. Além desses trabalhos terem sido realizados apenas para os grandes centros, foi realizada a análise de apenas uma faixa de frequência de 6 MHz de cada cidade. Nota-se que nesse período, nenhum estudo foi realizado para o interior do país, apenas para grandes centros.

Este trabalho apresenta um estudo de uma cidade do interior com perfil urbanístico totalmente diferente das capitais dos estados. Além de ser feita uma comparação entre a qualidade do sinal medido em relação ao teórico para toda a cidade, este trabalho realiza também um estudo detalhado de cada região da cidade, para permitir uma melhor visualização dos resultados em uma faixa de frequência quatro vezes maior do que os trabalhos já publicados.

Este estudo tem como objetivo coletar dados de intensidade de campo elétrico e potência elétrica do sinal de televisão digital terrestre em regiões urbanas na cidade de Uberlândia-MG, de acordo com as normas propostas na Resolução nº 67, de 12 de novembro de 1998 de quatro emissoras de Televisão e, assim, realizar comparações dos valores medidos com os valores teóricos obtidos a partir dos modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância das emissoras de TV operante o sinal digital na cidade [1] [15]. Além disso, analisou-se minuciosamente cada região da cidade e definiu-se qual melhor modelo de propagação se comporta de maneira mais satisfatória em cada uma delas.

Nos tópicos seguintes serão apresentadas uma breve descrição dos modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância, a metodologia adotada no estudo, os resultados obtidos e as conclusões.

II. MODELOS DE PROPAGAÇÃO

A. ITU-R P.1546

A recomendação da União Internacional de Telecomunicações (UTI/ITU) ITU-R P.1546 é o modelo de propagação que o Ministério das Comunicações e a Anatel utilizam como referência no desenvolvimento dos projetos de TV digital e analógica no Brasil [16]. O método também foi empregado na elaboração do plano básico de TV digital no Brasil, como o próprio relatório publicado pelo CPqD (Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações) em 2003 [3].

Esta recomendação é utilizada para predições ponto-área, serviços terrestres na faixa de 30 MHz a 3000 MHz, circuitos de rádio troposféricos sobre terra, mar ou caminhos mistos de até 1000 km e alturas de até 3000 m para a antena transmissora [16].

O método é baseado na interpolação/extrapolação a partir das curvas de intensidade de campo [16], tais como a da Figura 1, adquiridas empiricamente como funções da distância, altura da antena, frequência e tempo percentual. O procedimento de cálculo também inclui correções para os resultados obtidos a partir dos resultados da interpolação/extrapolação para explicar a desobstrução do terreno e as obstruções entorno da transmissão e da recepção.

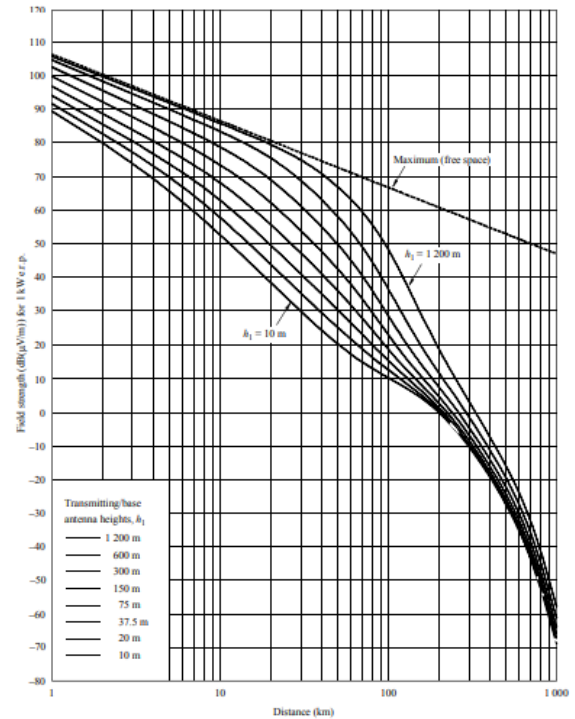


Fig. 1. Curva de intensidade de campo [16].

B. Okumura-Hata

Em 1980, Hata aprimorou o modelo de Okumura através de ferramentas computacionais, traduzindo os gráficos e tabelas de Okumura em expressões matemáticas. O modelo de Hata foi criado para áreas urbanas em cidades grandes, pequenas e médias, como também para áreas suburbanas [17]. A forma estabelecida que Hata encontrou para apresentar a perda de propagação em área urbana foi definindo pela equação (1). Como o modelo de Hata pode ser utilizado para outras áreas, definiu-se as equações de correção para áreas suburbanas e rurais [18].

$$L(\text{dB}) = A + B \log(d) \quad (1)$$

$$A = 69,55 + 26,16 \log(f) - 13,82 \log(h_b) - a(h_M) \quad (2)$$

$$B = 44,9 - 6,55 \log(h_b) \quad (3)$$

$$a(h_M) = [1,1 \log(f) - 0,7] h_M - [1,56 \log(f) - 0,8] \quad (4)$$

Onde:

f : frequência em MHz;

h_b : altura da antena transmissora;

h_M : altura da antena receptora;

$a(h_M)$: fator de correção dos ambientes;

L = atenuação em dB;

f = frequência em MHz ($150 \leq f \leq 1500$ MHz)

d = distância em km ($1 \text{ km} \leq d \leq 20 \text{ km}$);

h_t = altura do transmissor em metros ($30 \text{ m} \leq h_t \leq 200 \text{ m}$);

$a(h_r)$ = fator de correção em dB;

h_r = altura do receptor em metros ($1 \text{ m} \leq h_r \leq 10 \text{ m}$).

O fator de correção para cidades pequenas e dado por:

$$a(h_r) = (1,1 \log f - 0,7)h_r - (1,56 \log f - 0,8) \quad (5)$$

O fator de correção para cidades grandes é dado por:

Para $f \leq 300 \text{ MHz}$ o fator é dado por:

$$a(h_r) = 8,29(\log 1,54h_r)^2 - 1,1 \quad (6)$$

Para $f \geq 300 \text{ MHz}$ o fator é dado por:

$$a(h_r) = 3,2(\log 11,75h_r)^2 - 4,97 \quad (7)$$

Para as áreas suburbanas e rurais é necessário modificar a equação (1) para obter a perda de propagação conforme as equações (8) e (9).

$$L_{\text{suburbana}} = L_{\text{urbana}} - 2[\log(f/29)]^2 - 5,4 \quad (8)$$

$$L_{\text{rural}} = L_{\text{urbana}} - 4,78(\log f)^2 + 18,33 \log(f) - 40,94 \quad (9)$$

Na literatura são encontrados valores diferentes das equações do modelo de Hata devido a quantidade de casas decimais utilizadas [5] [16] [18] [17] [19]. Como o Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD) utiliza o modelo ITU-R P.1546 [16], a equação que será adotada para os cálculos será a do anexo 8 da recomendação internacional, apresentada pela equação (10).

$$E = 69,82 - 6,16 \log(f) + 13,82 \log(H_1) + a(H_2) - (44,9 - 6,55 \log(H_1))(\log(d))^b \quad (10)$$

Onde:

E : força campo (dB($\mu\text{V}/\text{m}$)) para 1 kW e.r.p;

f : frequência (MHz);

H_1 : altura da antena transmissora acima do solo no intervalo de 30 a 200 m da estação base;

H_2 : altura da antena receptora acima do solo no intervalo de 1 a 10 m.

$$a(H_2) = (1,1 \log f - 0,7)H_2 - (1,56 \log f - 0,8) \quad (11)$$

$b = 1$ para $d \leq 20 \text{ km}$.

$b = 1 + (0,14 + 0,000187f + 0,00107H_1')(\log(0,5d))^{0,8}$
para $d > 20 \text{ km}$.

$$H_1' = \frac{H_1}{\sqrt{(1+0,000007H_1^2)}}$$

C. Log-Distância

Segundo Rappaport, a potência média do sinal recebido diminui logaritmicamente com a distância, conforme comprovado pelos os modelos de propagação baseados em medições [18].

A perda de caminho média em grande escala entre o transmissor e o receptor em um espaço qualquer é expressa como uma função da distância, usando um expoente de perda de caminho, n . [18]

$$\overline{PL}(d) = \overline{PL}(d_0) + 10n \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (12)$$

Onde:

n : expoente de perda de caminho que indica a velocidade com a qual essa perda aumenta com relação à distância;

d_0 : distância de referência próxima que é determinada pelas medições perto do transmissor.

d : distância de separação do transmissor - receptor.

O valor de n depende do ambiente de propagação, conforme a Tabela I.

TABELA I
EXPOENTES DE PERDA DE CAMINHO PARA DIFERENTES AMBIENTES [18]

Ambiente	Expoente de perda de caminho, n
Espaço livre	2
Rádio-celular em área urbana	2,7 a 3,5
Rádio-celular urbano sombreado	3 a 5
Na linha de visão do prédio	1,6 a 1,8
Obstruído no prédio	4 a 6
Obstruído em fábricas	2 a 3

III. METODOLOGIA

Todos os modelos de propagação existente foram criados em grandes centros urbanos dos principais países do mundo, como EUA, Europa, Japão entre outros, com suas características urbanas completamente diferentes de países em desenvolvimento, como o Brasil.

Embora o comportamento da onda eletromagnética seja o mesmo para cada região, as peculiaridades de cada uma afetam de maneiras diferentes a propagação da onda eletromagnética, resultando em diferentes perfis de coberturas.

Diante disso, a cidade de Uberlândia não se assemelha a nenhuma das cidades onde foram desenvolvidos os modelos de propagação, logo, faz-se necessário dividir a cidade em regiões e verificar o comportamento do sinal para cada perfil topográfico e modelo.

A. Definições das Regiões

A cidade de Uberlândia está situada em uma região com relevo típico de chapada, ondulado, com vales, morros e planícies. O relevo do seu território é 70% ondulado e 30% plano. Diante disso, podemos dividir a cidade em três regiões, como mostra a Figura 2.

Na primeira região encontram-se diversos obstáculos, como casas, centros comerciais e, principalmente, prédios. O seu relevo é predominante composto por um morro e uma planície, apresentando um raio de 3 km do sistema de transmissão.

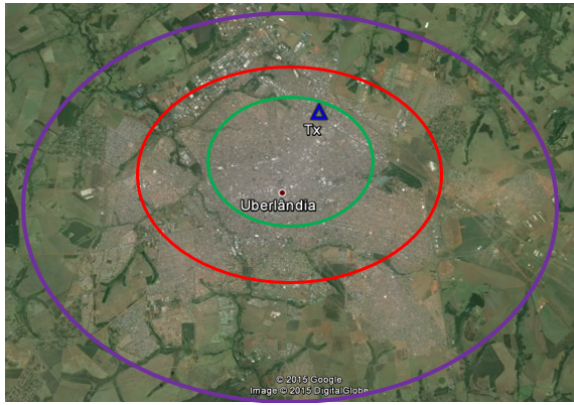


Fig. 2. Cidade de Uberlândia em regiões.

A segunda região evidencia a presença de um vale, onde podem ser observados alguns obstáculos, como prédios e residências. Essa região destaca-se por estar localizada a beira de um rio que percorre a cidade. A distância da região ao sistema de transmissão é de 9 km.

Por fim, tem-se a terceira região que se encontra na periferia da cidade, onde estão localizadas casas residenciais e alguns prédios espalhados por toda a região plana com pequenas ondulações. Seu raio é de aproximadamente 15 km do sistema irradiante.

B. Definição dos Pontos

A partir da determinação das regiões foram definidos os pontos a serem coletados. Considerando as localizações das torres de transmissão na região leste da cidade, foi escolhido como ponto central a emissora C ($18^{\circ}S53'06''$ $48^{\circ}W15'42''$). A partir desse ponto foram traçadas radiais a cada 15 graus e realizadas coletas a 3 km, 6 km, 9 km, 12 km, 15 km e 18 km, totalizando 24 retas e 144 pontos, como pode ser visto na Figura 3.

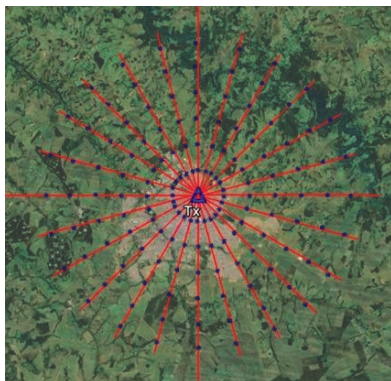


Fig. 3. Radiais de 15°.

Pode-se observar que a maioria dos pontos está localizada na zona rural, em locais de difícil acesso. Dessa forma, para análise da área urbana foram desprezados os pontos que se encontram na zona rural. Com isso, têm-se um total de 63 pontos a serem medidos para cada emissora, totalizando 232 medições, como mostrado na Figura 4.

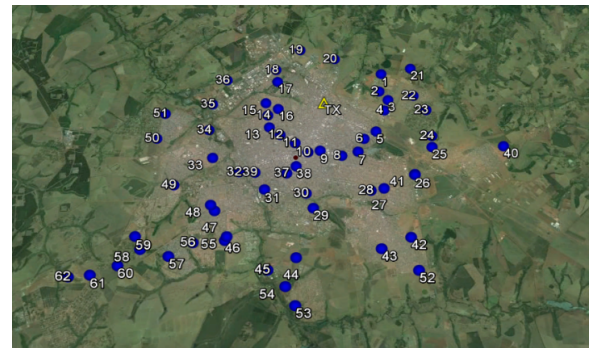


Fig. 4. Pontos de coleta.

Observando a Figura 4, verifica-se que a disposição dos pontos não está simétrica em relação a Figura 3, pois a maioria deles não tinha fácil acesso de deslocamento. Por isso, optou-se em coletar as informações em um lugar mais próximo do ponto inicialmente definido.

C. Medições

Durante os meses de maio a outubro de 2015, na cidade de Uberlândia, foram realizadas as medições de intensidade de campo elétrico e potência elétrica dos sinais UHF.

Para a realização das leituras dos sinais foi considerado o *setup* de transmissão em UHF das estações transmissoras de TV Digital das emissoras que estão localizadas no setor Leste da cidade de Uberlândia, além de ser criado um *setup* para o sistema de recepção.

Foi constatado que quatro emissoras de TV já estavam operando no sistema digital em Uberlândia. Optou-se por realizar a análise em todas as emissoras, denominadas neste trabalho de emissoras A, B, C e D. As características técnicas delas se encontram na Tabela II.

TABELA II
EMISSORAS DE TV

Emissora	A	B	C	D
Localização	$18^{\circ}S53'10''$ $48^{\circ}W15'22''$	$18^{\circ}S53'06''$ $48^{\circ}W15'30''$	$18^{\circ}S53'06''$ $48^{\circ}W15'42''$	$18^{\circ}S52'57''$ $48^{\circ}W15'03''$
Canal UHF	17	28	30	32
Frequência (MHz)	488-494	554-560	566-572	578-584
Potência Tx (KW)	2	1,1	2,5	1,5
Antena	75010068	ISD082822T	ISD083022U	ISD043222T
Beam-tilt	6°	4,7°	4°	1,7°
Polarização	Horizontal	Horizontal	Circular	Circular
Ganho (dBd)	10,5	11,55	11,20	6,74
Hci (m)	82,14	76,2	64	113
Linha	1 5/8 50J	1 5/8 50J	1 5/8 50J	1 5/8 50J
Comprimento (m)	92,14	85	71	120

O *setup* de transmissão é composto por um sistema irradiante, uma linha de transmissão e um transmissor, o qual é responsável pela emissão do sinal eletromagnético.

O segundo *setup*, mostrado na Figura 5, é composto por um analisador espectral ANRITSU (modelo MT8212E), uma antena dipolo ANRITSU CORP (modelo MP651A) acoplada por meio de um cabo coaxial (modelo ANRITSU MP 534A) e a um aparelho de GPS (*Global Positioning System*), sendo que este determinou a localização exata da coleta.

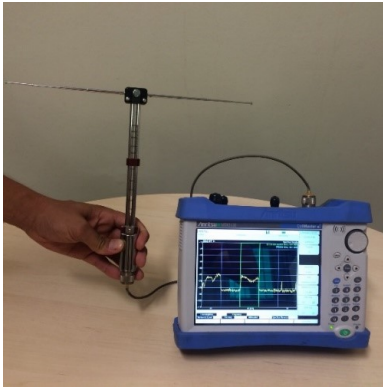


Fig. 5. Setup de recepção.

O primeiro passo no procedimento de medição foi posicionar a antena receptora visada na mesma direção da antena transmissora, e para isso, foram checados os valores de azimute de cada ponto em relação a sua antena de transmissão. O próximo passo foi definir em qual canal seriam realizadas as leituras. A primeira medição realizada foi para o canal 17 (491,142857 MHz), denominada emissora A. Para isso, definiu-se no analisador de espectro o canal 17. Assim que o analisador reconheceu a frequência a ser analisada, fez-se necessário esperar o sinal se manter estável. Adotou-se, então, um tempo padrão de 5 min e quando o sinal ficava estável, o valor da potência elétrica era coletado. Esse procedimento descrito para o canal 17 foi realizado para os canais 28 (557,142857 MHz), denominado emissora B, 30 (581,142857 MHz), intitulado emissora C e para o canal 32 (581,142857 MHz), chamado emissora D.

Ao término da coleta da potência elétrica dos canais, a próxima leitura realizada foi da intensidade do campo elétrico. Para isto, foi necessário substituir a opção de potência elétrica por intensidade do campo elétrico no analisador de espectro. Feitas as alterações, definiu-se qual canal seria coletado. A partir da definição do canal, iniciou-se a coleta da intensidade do campo elétrico com os mesmos procedimentos adotados na leitura de potência elétrica. As medidas da intensidade do campo elétrico foram realizadas para os canais 17, 28, 30 e 32.

D. Análise dos Dados

Uma vez coletados e compilados os dados relativos a intensidade de campo elétrico e potência elétrica das emissoras consideradas nesse trabalho, a próxima etapa consistiu no processamento e análise da informação.

Na etapa de análise foi realizada a comparação entre os resultados teóricos obtidos de acordo com os métodos de propagação - ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância - e os correspondentes níveis de sinal aferidos em campo, através de parâmetros estatísticos, como erro médio, erro absoluto, RMS e desvio padrão.

No processamento dos dados foram utilizados os softwares, Matlab® e Excel®, para os cálculos dos resultados teóricos dos modelos de propagação.

IV. RESULTADOS

No decorrer do trabalho foram colhidos dados referentes à intensidade do campo elétrico e potência elétrica das emissoras de TV aqui denominadas por A, B, C e D, com o intuito de realizar a comparação do valor teórico com o aferido.

A partir dos resultados das medições de intensidade do campo elétrico e potência elétrica na faixa de frequência de 488 a 584 MHz, foram construídos dois bancos de dados, um com potência elétrica e outro com intensidade de campo elétrico. Comparou-se cada ponto e, em seguida, calculou-se a média dos sinais para cada emissora, como pode-se ver na Tabela III.

TABELA III
MÉDIA DOS SINAIS DAS EMISSORAS

Emissora	A	B	C	D
Intensidade do campo elétrico [dB(μ V/m)]	85,5	77,8	82,1	79,3
Potência elétrica [dBm]	-54,17	-60,01	-56,47	-59,17

Dessa forma, para melhor visualização e entendimento, apresenta-se a seguir os resultados das análises comparativas em relação aos três modelos de propagação - ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância.

Nos modelos ITU-R P.1546 e Okumura-Hata, comparou-se o modelo teórico com o valor medido. Analisou-se ponto a ponto, calculou-se os erros médio, absoluto, RMS e o desvio padrão, conforme podemos ver nas Tabelas IV e V.

TABELA IV
ERROS ITU-R P.1546 PONTO A PONTO

Emissora	Erro médio	Absoluto	RMS	Desvio Padrão
A	3,60	7,84	5,36	5,72
B	9,44	11,07	8,62	6,95
C	8,28	10,93	8,64	6,69
D	6,03	8,32	5,90	5,86
Média [dB]	6,83	9,54	7,13	6,30

TABELA V
ERROS OKUMURA-HATA PONTO A PONTO

Emissora	Erro médio	Absoluto	RMS	Desvio Padrão
A	-7,89	10,31	7,66	6,89
B	-2,93	8,72	6,86	5,38
C	-0,93	8,19	6,76	4,63
D	-3,05	8,37	6,79	4,89
Média [dB]	-3,70	8,89	7,01	5,44

Já no modelo Log-Distância, além dos diagnósticos que foram realizadas nos modelos de ITU-R P.1546 e Okumura-Hata, buscou-se encontrar o melhor fator n para cada emissora, variando de 0,25 no intervalo de 2 a 4, de acordo com a Tabela VI.

Além da análise ponto a ponto, verificou-se qual modelo de propagação se comporta da melhor forma em cada uma das três regiões divididas na cidade de Uberlândia/MG. O procedimento para encontrar o erro médio, absoluto, rms e o desvio padrão foi o mesmo adotado para o ponto a ponto,

TABELA VI
ERROS LOGDISTÂNCIA PONTO A PONTO

Emissora	n	Erro médio	Absoluto	RMS	Desvio Padrão
A	4	14,97	15,17	12,80	8,12
B	3,75	3,21	6,95	5,07	4,76
C	4	4,23	8,82	7,25	5,01
D	4	8,31	9,80	7,75	6,00
Média [dB]		7,68	10,18	8,21	5,97

e apresentado nas Tabelas VII, VIII, IX e X de cada região. A quantidade de pontos analisado para as regiões 1, 2 e 3 foram as seguintes, 21, 22 e 20 pontos respectivamente para cada canal UHF.

TABELA VII
ERRO MÉDIO DAS EMISSORAS POR REGIÃO

Modelo	Erro Médio [dB]		
	Região 1	Região 2	Região 3
ITU-R P.1546	3,44	9,04	6,63
Okumura-Hata	-11,46	-2,56	-1,58
LogDistância	9,04	10,23	3,45

TABELA VIII
ERRO ABSOLUTO MÉDIO POR REGIÃO

Modelo	Erro Absoluto [dB]		
	Região 1	Região 2	Região 3
ITU-R P.1546	7,51	11,85	9,42
Okumura-Hata	9,02	8,27	7,64
LogDistância	9,85	12,78	7,69

TABELA IX
ERRO RMS MÉDIO POR REGIÃO

Modelo	Erro RMS [dB]		
	Região 1	Região 2	Região 3
ITU-R P.1546	5,46	9,69	7,12
Okumura-Hata	8,18	5,48	5,74
LogDistância	8,10	11,11	5,84

TABELA X
DESVIO PADRÃO MÉDIO POR REGIÃO

Modelo	Desvio Padrão [dB]		
	Região 1	Região 2	Região 3
ITU-R P.1546	5,13	6,80	6,03
Okumura-Hata	7,97	6,03	4,98
LogDistância	5,29	6,24	4,94

V. CONCLUSÃO

Neste estudo analisou-se o sinal UHF na faixa de 488 a 584 MHz, na cidade de Uberlândia/MG para três modelos – ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância – de propagação, com o intuito de verificar as exigências das normas do Sistema Brasileiro de Televisão Digital (SBTVD).

Como pode-se observar, a Tabela III mostra que a média dos sinais mais robustos de intensidade de campo elétrico e potência elétrica encontrada foi da emissora A, seguidos das

emissoras C, D e B. Nota-se que nas Tabelas IV, V e VI que cada modelo de propagação, apresentou divergente o canal de TV com o menor desvio padrão. No modelo de propagação ITU-R P.1546 a emissora A apresentou o menor desvio padrão de 5,72 dB. Já no modelo de Okumura-Hata o canal C obteve o menor desvio padrão, com um valor de 4,63 dB. E por fim, no modelo de Log-Distância, observou-se que a emissora B demonstrou o menor desvio padrão de 4,76 dB para $n = 3,75$.

O primeiro modelo de propagação utilizado na comparação foi o ITU-R P.1546, onde foi verificado a conformidade do desvio padrão da intensidade de campo das emissoras de acordo com a recomendação [16] – valor máximo recomendado de 5,5 dB. Conforme mostrado na Tabela IV, os valores apresentados do desvio padrão das emissoras A, B, C e D são 5,72 dB, 6,95 dB, 6,69 dB e 5,86 dB. Observa-se que para todas as emissoras o valor foi superior ao recomendado pela ITU [16]. Para as emissoras que operam em Uberlândia melhorarem o desempenho da transmissão do sinal UHF e obedecerem os valores de desvio padrão recomendado pela a ITU-R P.1546, a sugestão é otimizar os parâmetros do sistema irradiante e do transmissor. Isto pode ser feito com o ajuste do ganho e apontamento da antena, preenchimento de nulos, aplicação de *tilt* elétrico ou mecânico no sistema irradiante e aumento da potência elétrica no sistema de transmissão.

Além da análise da intensidade do campo elétrico, conferiu-se os valores de potências em cada ponto. A norma [20] determina que a potência mínima de recepção é de -77 dBm. Constatou-se que todas as emissoras estão dentro do limiar de recepção.

Para determinar qual o modelo de propagação que mais se aproximou da realidade, foram realizados cálculos ponto a ponto para encontrar o menor desvio padrão médio de cada método. Os valores médios encontrados dos modelos ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log-Distância são 6,30 dB, 5,44 dB e 5,97 dB. Conforme os valores de desvio padrão encontrados, concluiu-se que o modelo de propagação que mais se aproximou da realidade foi o Okumura-Hata com um desvio de 5,44 dB.

E por fim, para a análise das regiões constatou-se que na região 1, o modelo que apresentou melhor desempenho foi o modelo ITU-R P.1546 com um desvio padrão de 5,13 dB. Já para a região 2 foi o modelo Okumura-Hata com um desvio padrão de 6,03 dB e a região 3 o modelo que apresentou o menor desvio padrão de 4,94 dB foi o LogDistância. Nota-se que para as três regiões analisadas foram obtidos resultados distintos, sendo que cada região apresentou um modelo mais adequado para o seu comportamento.

A partir desses resultados ponto a ponto e por regiões as emissoras de TV que transmitem o sinal digital em Uberlândia/MG, terão dados concretos sobre a qualidade do sinal UHF na cidade de suas emissoras e poderão buscar a melhor solução para que a cobertura do sinal digital consiga manter a abrangência do sinal analógico, além de manter a qualidade do sinal em diferentes pontos e regiões da cidade e conseguir uma boa recepção em ambientes fechados. Com isso as emissoras de TV da cidade estarão preparadas para o *switch off* da TV analógica em Uberlândia previsto para 05 de dezembro de 2018, conforme portaria do Ministério das

Comunicações nº 378, de 22 de Janeiro de 2016.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao órgão de fomento CAPES e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Elétrica/UFU pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] T. N. Santos, "Análise da qualidade da propagação do sinal UHF na cidade de Uberlândia, utilizando os modelos de propagação ITU-R P.1546, Okumura-Hata e Log Distância," Dissertação (Mestrado), Fac. Eng. Elétr., Univ. Fed. de Uberlândia, Uberlândia, MG, 2016.
- [2] P. V. G. Castellanos, "Caracterização do canal de propagação banda larga na faixa UHF para aplicações de TV digital," Tese (Doutorado), Dep. de Eng. Elétr., Pont. Univ. Católica do Rio de Jan., Rio de Janeiro, RJ, 2008.
- [3] P. G. Esperante, C. Akamine, and G. Bedicks, "Comparison of terrestrial DTV systems: ISDB-TB and DVB-T2 in 6 MHz," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 1, pp. 45–56, 2016.
- [4] I. R. S. Casella and A. L. Pereira, "A bioinspired propagation model for Brazilian digital TV system based on MLP and RBF networks," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 14, no. 9, pp. 3941–3948, 2016.
- [5] M. S. de Alencar, *Televisão Digital*. 1ª ed., Brasil: Érica, 2012.
- [6] P. Castellanos, M. Almeida, J. Cal-Braz, R. David, J. Arnez, R. Souza, L. S. Mello, and F. Lima, "Preliminary field tests results of ISDB-Tb digital TV transmission in the VHF-high band," in *Antennas and Propagation in Wireless Communications (APWC), 2015 IEEE-APS Topical Conference on*. IEEE, 2015, pp. 1377–1380.
- [7] L. C. de Paula Costa, C. S. Kurashima, M. G. De Biase, R. H. Alonso, and M. K. Zuffo, "A technical analysis of digital television broadcasting in Brazil," in *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB), 2013 IEEE International Symposium on*. IEEE, 2013, pp. 1–5.
- [8] Ministério das Comunicações do Brasil. Portaria nº 378, de 22 de Janeiro de 2016.
- [9] Ministério das Comunicações do Brasil. Portaria nº 1.714, de 27 de Abril de 2016.
- [10] Ministério da Ciência, Tecnologia, Inovações e Comunicações do Brasil. Portaria nº 3.493, de 26 de Agosto de 2016.
- [11] F. D. A. C. Peres, "Estudo de modelos de radiopropagação para recepção fixa de TV digital na faixa de UHF," Dissertação (Mestrado), Dep. de Eng. Elétr., Univ. Católica do Rio de Jan., Rio de Janeiro, RJ, 2011.
- [12] M. H. C. Dias, J. C. A. dos Santos, and G. d. M. O. da Silva, "VHF/UHF urban sites coverage planning with special care to mixed terrain transitions," *IEEE Latin America Transactions*, vol. 9, no. 3, pp. 288–294, 2011.
- [13] D. Dias Da Silva, "Aplicação do perceptron de múltiplas camadas para estimação da cobertura do sinal de televisão digital na cidade de Goiânia," *Learning and Nonlinear Models*, vol. 10, pp. 70–86, 01 2012.
- [14] M. A. C. d. Borba, "Medição de cobertura no sistema brasileiro de TV digital terrestre," Dissertação (Mestrado), Dep. Eng. Elétr. e Informática Industrial, Univ. Tecnológica Fed. do Paraná, Curitiba, PR, 2011.
- [15] Agência Nacional de Telecomunicações - ANATEL. Resolução nº 67, de 12 de Novembro de 1998 - Regulamento Técnico para Emissoras de Radiodifusão Sonora em Frequência Modulada, 1998.
- [16] International Telecommunication Union, Recommendation ITU-R P.1546 – 4 Method for Point-to-Area Predictions for Terrestrial Services in The Frequency Range 30 MHz to 3 000 MHz, 2009.
- [17] J. D. Parsons and P. J. D. Parsons, "The mobile radio propagation channel," 2nd ed., England: John Wiley & Sons Ltd, 2000.
- [18] T. S. Rappaport, *Comunicações sem Fio: Princípios e Práticas*. 2ª ed., Brasil: Pearson, 2008.
- [19] J. C. de Oliveira Medeiros, *Princípios de Telecomunicações. Teoria e Prática*. 5ª ed., Brasil: Érica, 2015.
- [20] Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, NBR 15604:2007 Televisão Digital Terrestre — Receptores, 2007.



Tiago Nunes Santos recebeu o título de Mestre em Engenharia Elétrica em 2016, e de Engenheiro Eletricista em 2012, ambos pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Ele também obteve o título de especialista em Gerenciamento de projetos pela Fundação Getulio Vargas (FGV) em 2015. Atualmente é doutorando em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia. Seus interesses em pesquisa incluem TV digital, propagação e antenas.



Gilberto Arantes Carrijo recebeu o título de Pós-doutorado pela The University of Western Australia em 1990. Obteve os títulos de Doutor e Mestre em Engenharia Eletrônica e Computação em 1983 e 1976, ambos pelo Instituto Tecnológico de Aeronáutica (ITA). E possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade de Brasília (UNB) em 1972. Atualmente é professor titular no curso de Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Uberlândia (UFU).