



Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**ESTUDO DA COBERTURA DA TV ITARARÉ
DIGITAL NO BAIRRO UNIVERSITÁRIO EM
CAMPINA GRANDE - PB**

Campina Grande, Paraíba

Abril de 2017

LARISSA PIMENTEL DE CARVALHO

ESTUDO DA COBERTURA DA TV ITARARÉ
DIGITAL NO BAIRRO UNIVERSITÁRIO EM
CAMPINA GRANDE - PB

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Telecomunicações

Orientador:

Professor Rômulo Raimundo Maranhão do Valle

Campina Grande, Paraíba

Abril de 2017

LARISSA PIMENTEL DE CARVALHO

ESTUDO DA COBERTURA DA TV ITARARÉ
DIGITAL NO BAIRRO UNIVERSITÁRIO EM
CAMPINA GRANDE - PB

Trabalho de conclusão de curso submetido à Unidade
Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande como parte dos requisitos
necessários para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Telecomunicações

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Rômulo Raimundo Maranhão do Valle

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Com amor, dedico este trabalho aos meus pais
e irmão.

AGRADECIMENTOS

Sou grata aos meus pais, Joabson e Rosiana, verdadeiras fortalezas que sempre me deram suporte e amor. Ao meu irmão Andrei, meu ponto de equilíbrio e a quem confio de olhos fechados. Aos meus avós, pelo colo nos momentos que mais precisei.

Aos meus tios, tias, primos e primas pela torcida e pelo alto astral. Às amigas que fiz em Campina Grande, em especial às minhas amigas, sempre presentes para aliviar a saudade de casa. Aos colegas de curso, que sempre vou lembrar com carinho.

Aos meus mestres, professores e funcionários da Universidade Federal de Campina Grande, sou grata por todos os ensinamentos passados. Não mudaria nada da minha experiência acadêmica e devo isso a vocês.

*“When we long for life without difficulties, remind us that oaks grow strong in contrary winds
and diamonds are made under pressure”.*

Peter Marshall

RESUMO

Este documento apresenta o estudo da cobertura de uma emissora de Televisão Digital na cidade de Campina Grande. Utilizando métodos computacionais dos modelos do Percurso Dominante e da recomendação P. 1546-1 da Agência Nacional de Telecomunicações, a Anatel, foram comparados os valores teóricos e medidos a fim de verificar qual modelo melhor descreve a região do bairro universitário de Campina Grande. Por consequência, também foram observados os efeitos da topografia e das edificações na propagação do sinal em frequência ultra alta (*Ultra High Frequency – UHF*).

Palavras-chave: TV Digital, Propagação de Sinais, Modelos de Predição de Campo, Recomendação P.1546-1, Modelo do Percurso Dominante.

ABSTRACT

This document presents the study of digital television channel coverage in Campina Grande, Brazil. Using computer methods of Dominant Path for Predictions Model, and the Point-to-Area Predictions for Terrestrial Services 'P.1546-1' (recommended by the National Telecommunications Agency, Anatel) the theoretical and measured values were compared for the purpose of verifying which model better describes the Federal University of Campina Grande neighbourhood. Therefore, the effects of the topography and buildings in the signal propagation in UHF were also noticed.

Key words: Digital TV, Signal Propagation, Prediction Models, ITU-R P.1546-1, Dominant Path Prediction Model.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Reflexão	17
Figura 2 - Difração.....	17
Figura 3 - Espalhamento	18
Figura 4 – Percurso direto, traçado de raios e caminho dominante.	20
Figura 5 - Cenário	22
Figura 6 - Topografia do cenário	23
Figura 7 - Relevo em 3D.....	23
Figura 8 - Relevo com camada de edificações.....	24
Figura 9 - Diagrama de azimute da antena Ideal	26
Figura 10 – Diagrama de elevação da antena 4 fendas	26
Figura 11 - Percurso das medições	27
Figura 12 - Resultado: recomendação P.1546-1	28
Figura 13 - Resultado: modelo percurso dominante	29
Figura 14 - Resultado: Trecho 1	30
Figura 15 - Resultado: Trecho 2	31
Figura 16 - Resultado: Trecho 3	32
Figura 17 - Resultado: Trecho 4	33
Figura 18 - Resultado: Trecho 5	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Descrição do sistema	25
Tabela 2 - Características técnicas: Transmissor Principal.....	25
Tabela 3 - Características técnicas: Antena Principal.....	25
Tabela 4 - Características técnicas: Linha de Transmissão	25
Tabela 5 - Trechos das medições	27

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ATSC	Advanced Television System Comitee Comitê de Sistemas de Televisão Avançados
COST	Coopération européenne dans le domaine de la recherche Scientifique et Technique Cooperação europeia no domínio da investigação científica e técnica
DVB	Digital Video Broadcasting Transmissão de Vídeo Digital
ISDB	Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial Serviços Integrados de Transmissão Digital Terrestre
NBR	Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas
TV	Televisão
UIT-R	União Internacional de Telecomunicações - Recomendações
UHF	Ultra High Frequency Frequência Ultra Alta

SUMÁRIO

Agradecimentos	v
Resumo	7
Abstract.....	8
Lista de Ilustrações	9
Lista de Tabelas	10
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	11
Sumário	12
1 Introdução.....	13
1.1 Objetivos	13
1.1 Estrutura do trabalho	14
2 Fundamentação teórica	15
2.1 Propagação de ondas	16
2.1.1 Reflexão de ondas	16
2.1.2 Difração de ondas:	17
2.1.3 Espalhamento:.....	17
2.2 Modelos de predição de campo.....	18
2.2.1 Modelo do percurso dominante	19
2.2.2 Modelo UIT-R P.1546-1	20
3 Metodologia.....	22
3.1 Medições	27
4 Resultados.....	28
5 Conclusão	35
6 Bibliografia.....	36

1 INTRODUÇÃO

Desde a chegada ao Brasil na década de 50, a televisão se tornou um instrumento da cultura popular Integrated Services Digital Broadcasting Terrestrial

. A evolução das tecnologias permitiu o desenvolvimento da TV digital, que no Brasil foi inspirado no sistema japonês ISDB e transmitido pela primeira vez em 2007. Após um período de transição, algumas cidades já deram início ao desligamento do sinal analógico, como por exemplo, Brasília. Na Paraíba, está previsto que o desligamento na cidade de João Pessoa ocorra em maio de 2018, enquanto Campina Grande em dezembro de 2018.

Como qualquer projeto de radiodifusão, ocorre o problema da modelagem. Modelos computacionais foram desenvolvidos a fim de facilitar a análise da propagação do sinal para diferentes regiões. Esses métodos têm como objetivo prever o comportamento do sinal no cenário em questão, considerando diferentes topografias e constituições urbanas. Esses modelos podem ser desenvolvidos de modo empírico, determinístico e semi-empírico. Após o estudo dos modelos, é fundamental a medição direta em campo a fim de validar as previsões e identificar áreas de difícil recepção para solucionar possíveis carências (Vasco & Borba, 2013). É importante ressaltar que a medição direta e a modelagem são complementares.

A cidade de Campina Grande está localizada no planalto da Borborema e o relevo da cidade é caracterizado pela existência de vários morros. Quanto à urbanização, a cidade possui construções tipicamente baixas, exceto em regiões pontuais. A fim de observar como o sinal se comporta em uma determinada região, foram considerados dois modelos para serem comparados com os valores obtidos em medição direta. A área considerada nesse trabalho é a região da Universidade Federal de Campina Grande e os bairros universitários: Bodocongó, Conjunto dos Professores, Monte Santo e Prata.

1.1 OBJETIVOS

Diante dos vários problemas enfrentados para implantação de sistemas de TV digital na banda UHF, este trabalho tem como objetivo principal avaliar dois modelos de previsão de campo existentes, o modelo do percurso dominante e a recomendação UIT-R P.1546-1, e verificar qual se adequa mais aos bairros universitários na cidade de Campina Grande,

comparando com valores medidos experimentalmente. Como objetivo secundário, será possível verificar a influência da topografia do terreno e de edificações na propagação do sinal.

1.1 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para compreender como se deu a elaboração desse trabalho é importante entender primeiramente o comportamento das ondas eletromagnéticas e seus fenômenos. Sendo assim, o capítulo 2 aborda a fundamentação teórica, iniciando com uma abordagem histórica da televisão digital no Brasil, normas vigentes e então os aspectos técnicos, com a propagação de ondas e seus fenômenos no cenário urbano. Finalizando o capítulo 2, serão mostrados os tipos de modelos de predição de campo e como os mesmos são classificados. Dentre os modelos disponíveis, foram escolhidos os modelos do percurso dominante, para observar a influência das edificações, e a recomendação P.1546-1, por ser o modelo recomendado pela Anatel, para ser objeto de estudo.

Com os modelos escolhidos, é preciso realizar a simulação para a área em questão e comparar com os valores obtidos em uma campanha de medição. O capítulo 3, portanto, trata-se da metodologia empregada no trabalho da simulação e das medições, mostrando a região considerada, sua topografia e aspectos técnicos da estação da TV Itararé, como frequência, antena e transmissor. Também são mostrados os equipamentos utilizados para obter o valor da intensidade de campo na campanha.

No capítulo 4 verificam-se os resultados do capítulo anterior, considerando as respostas da simulação e das medições. A região foi dividida em cinco trechos para uma melhor análise e foram traçados nos mesmos gráficos as respostas dos modelos e da campanha para verificar qual possui a melhor semelhança com aquela região da cidade de Campina Grande. Por fim, o capítulo 5 se trata das conclusões a partir dos resultados, possíveis soluções e sugestões para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A televisão digital é uma evolução da televisão analógica que, utilizando sinais digitais codificados, conseguem transmitir áudio e vídeo em melhor qualidade utilizando menos espectro eletromagnético. Diferentemente do seu antecessor que utilizava 6MHz por canal, a TV digital é capaz de alocar até quatro canais para a mesma largura de banda e com qualidade superior, além da possível interatividade com os telespectadores e acesso à programação dos canais.

Situando historicamente a TV Digital (DTV) no Brasil, o sistema foi inspirado no modelo japonês, o ISDB. Em 2003, o governo brasileiro montou um comitê para realizar um estudo de qual entre os modelos disponíveis na época seria a melhor escolha para o Brasil, o sistema americano ATSC, o europeu DVB ou o japonês ISDB. Em 2006 foi acordado com o Japão o uso do seu modelo para a instalação da TV digital brasileira e, após o acordo, foi projetado um cronograma para a transição da tecnologia analógica para digital de 10 anos.

Em 2007, a ABNT homologou as normas brasileiras para o sistema de transmissão de TV digital, a ABNT NBR15601. Outras normas relacionadas ao sistema foram homologadas juntamente à NBR15601, reunindo as diretrizes para as codificações de vídeo, áudio e multiplexação na NBR15602-1/2/3, serviços de informação, sintaxes e definições do sistema de radiodifusão na NBR15603-1/2/3, receptores na NBR15604, codificação de dados e especificações de transmissão na NBR15606-1/2/3/5 e, por fim, a norma para os canais de interatividade na NBR15607-1.

Um ponto importante a ser ressaltado é sobre a sensibilidade do nível de recepção mínimo do sinal. Segundo a NBR 15604, é recomendado que o receptor satisfizesse um nível mínimo de entrada do sinal de antena de -77dBm ou inferior e o nível de sinal igual ou superior a -20dBm. Esta mesma norma também diz que os parâmetros de transmissão devem apresentar modulação 64 QAM e codificação interna.

Diferente do sistema de televisão analógico, o sistema digital foi alocado para a faixa UHF. Os efeitos da atmosfera e do terreno sob essa faixa de frequência vão desde o multipercurso a obstrução pelo relevo ou pela vegetação, fazendo com que o espaço urbano entre as antenas transmissora e receptora haja inúmeros obstáculos. Como cada cidade possui características urbanas e topografias diferentes, os projetos de implantação da TV digital vão ser igualmente diferentes.

Atualmente, existem modelos de predição de campo que variam segundo vários aspectos. Sabendo que cada cidade possui suas características individuais, esses modelos auxiliam no projeto para verificar como o sinal se comporta e se este vai conseguir atingir os níveis desejados e contornos da norma. Como existem inúmeros modelos, é importante que se escolham os que mais se assemelham com a cidade em questão para obter um resultado mais próximo da realidade.

Para entender como se dá a propagação do sinal da TV digital, é importante que se saiba como funcionam as ondas eletromagnéticas e como estas reagem ao cenário de propagação. Em vista disso, o próximo tópico aborda os fenômenos que ocorrem com as ondas no geral e como se aplica à propagação do sinal da TV digital.

2.1 PROPAGAÇÃO DE ONDAS

Ondas são um meio de transportar energia ou informação (Sadiku & Matthew, 2012). Os sinais de TV são exemplos de ondas eletromagnéticas, que possuem basicamente três características principais: apresentam propriedades ondulatórias ao se propagarem, são irradiadas a partir de uma fonte sem necessidade de um meio físico de propagação e viajam em alta velocidade.

As maiorias dos enlaces em áreas urbanas não possuem visada direta, isso se deve a presença de construções altas e aglomeradas, causando múltiplas reflexões e fazendo com que as componentes da onda trafeguem por caminhos diferentes e conseqüentemente diminua a intensidade das ondas a medida que a distância entre o receptor e o transmissor aumenta.

Os mecanismos responsáveis pela propagação da onda eletromagnética são a reflexão, a difração e o espalhamento (Rappaport, 2009). Esses três fenômenos podem ser explicados pela óptica geométrica e serão mais detalhados a seguir.

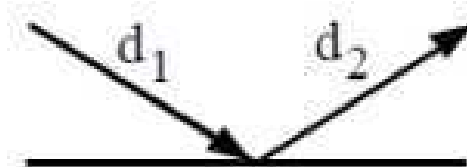
2.1.1 REFLEXÃO DE ONDAS

Quando uma onda eletromagnética colide com uma superfície de propriedade elétrica diferente, parte dessa onda é transmitida e outra parte refletida, portanto, o fenômeno da reflexão ocorre quando a onda eletromagnética atinge uma superfície de largas dimensões, retornando ao meio de propagação. O comportamento da onda refletida depende da permissividade do meio em que está incidindo, por exemplo, se a onda incidir em um condutor

perfeito, toda a energia incidente é refletida de volta ao meio original sem perdas ou se a onda incidir em um dielétrico perfeito, parte da energia é transmitida para o segundo meio e parte refletida, sem perdas por absorção (Rappaport, 2009), como mostrado na Figura 1.

Como esse trabalho tem dimensões de cenários grandes e reais, parte da energia será perdida à medida que a reflexão acontecer. Este fenômeno acontece quando a onda reflete na superfície da Terra, montanhas e construções (Ramos & Siqueira, 2001).

Figura 1- Reflexão



Fonte: Assis, 2012

2.1.2 DIFRAÇÃO DE ONDAS:

Este fenômeno explica como as ondas eletromagnéticas se propagam ao redor da superfície curva da Terra e por trás de obstruções, apesar da intensidade do sinal diminuir a medida que o receptor se insere nas “sombras” (Rappaport, 2009). A difração é a capacidade de a onda contornar os obstáculos, explicado pelo princípio de Huygen, que afirma que todos os pontos de frente de onda podem se tornar fontes e produzir novas frentes de onda. Ou seja, ao se deparar com uma barreira, a frente de onda se encurva e continua irradiando, iluminando também a região de sombra (Ramos & Siqueira, 2001), como mostrado na Figura 2.

Figura 2 - Difração



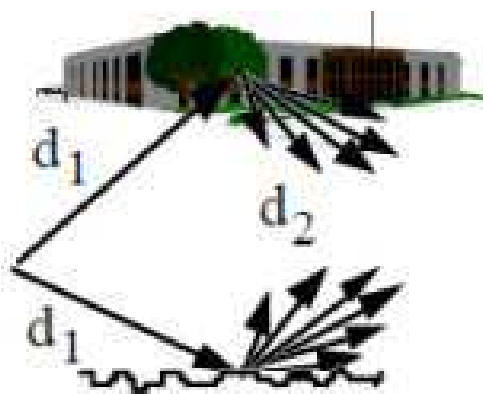
Fonte: Assis, 2012

2.1.3 ESPALHAMENTO:

O choque entre a onda eletromagnética e uma superfície áspera faz com que a energia refletida seja espalhada para todas as direções. Este fenômeno é conhecido como espalhamento. Estas superfícies ásperas podem ser árvores, postes, entre outros, fazendo com que a energia dispersada se some com as ondas propagantes, aumentando a intensidade de campo no receptor (Rappaport, 2009). A Figura 3 ilustra um exemplo do espalhamento de onda em objetos.

Superfícies planas com dimensão maior que um comprimento de onda pode atuar como superfícies refletoras e dispersivas, a depender da aspereza de sua superfície. O teste para esse parâmetro é definido pelo critério de Rayleigh, que define uma altura crítica dependendo do ângulo de incidência (Rappaport, 2009).

Figura 3 - Espalhamento



Fonte: Assis, 2012

2.2 MODELOS DE PREDIÇÃO DE CAMPO

À medida que as tecnologias evoluem, os estudos sobre os modelos de predição de campo se mostram cada vez mais necessários. Esses modelos podem ser divididos em algumas categorias, como por exemplo, através do modo que foram desenvolvidos, ou seja, empírico, semi-empírico ou determinístico.

Os modelos empíricos constituem a maioria dos modelos existente e são obtidos através de medições categóricas nas regiões em estudo, geralmente apresentado em ábacos. A vantagem desse modelo é sua fácil aplicação e seu tempo de processamento computacional relativamente baixo. Em compensação, só pode ser aplicado em cidades com características semelhantes, já que as curvas são projetadas para uma região específica. Para usar os modelos empíricos consagrados, geralmente é feito ajuste nas curvas ou compensações numéricas

(Barizon & Mello, 2004). Entre os modelos mais utilizados, pode-se citar o Okumura-Hata, COST 231 e o método de previsões Ponto-Área da recomendação UIT-R P 1546-1 da Anatel.

Modelo semi-empíricos, como o nome diz, é a mistura dos dois tipos de modelos. O modelo é obtido utilizando os dados obtidos empiricamente utilizando a teoria eletromagnética clássica, como a reflexão, difração e espalhamento, e, se comparado aos modelos empíricos, o esforço computacional é maior. Os modelos desse tipo mais famosos são os modelos Walfisch-Bertoni e Ikegami.

Por fim, os modelos determinísticos são obtidos utilizando apenas a óptica geométrica, a teoria eletromagnética clássica e métodos numéricos para determinar o valor do campo através de equações. Devido ao elevado número de variáveis, o processamento desse tipo de modelo é mais longo, sendo, portanto, mais aplicado em estudos de ambientes indoor.

Dentro dos modelos ainda há uma classificação segundo o posicionamento do transmissor e do receptor para o cálculo da propagação: previsão ponto-a-ponto e previsão ponto-área. O método ponto-a-ponto é utilizado quando se sabe a localização do emissor e do receptor, ou seja, o receptor e o transmissor são fixos, fazendo com que o método seja dependente apenas da topografia e as construções do terreno no caminho que a onda vai percorrer. Esse método permite um cálculo mais preciso da situação.

O método de previsão ponto-área possui uma modelagem mais complexa, já que seu receptor é móvel e de localização desconhecida. Sendo assim, a região é dividida em células menores de dimensões variáveis, por exemplo, quadrados de 200m x 200m, e o receptor estarão dentro dessa célula. Dentro dessa área é associado um campo elétrico mediano $E(50,50)$, que significa que o campo elétrico é excedido em 50% das localidades e em 50% do tempo (Vasco & Borba, 2013). A técnica de traçado de raios é um modelo determinístico que utiliza o cálculo da propagação ponto-área para estimar a atenuação entre o transmissor e o receptor. Vale ressaltar que além da divisão de áreas menores, a técnica de traçado de raios depende fundamentalmente dos detalhes da urbanização da área para um resultado mais preciso (Assis, 2012).

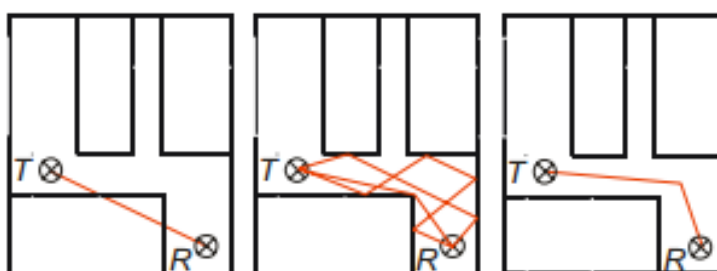
2.2.1 MODELO DO PERCURSO DOMINANTE

Modelos derivados da óptica geométrica são considerados tanto em modelos empíricos quanto em determinísticos através da reflexão, difração e espalhamento. O modelo do percurso dominante contempla o caminho de maior energia do traçado de raios, ao contrário da modelagem empírica que considera apenas o raio direto entre o transmissor e o receptor e da

modelagem determinística do traçado de raios que considera centenas de raios em um pixel (Martins, Dmitriev, & Lima, 2009). Portanto, o modelo do percurso dominante calcula a rota de maior energia e então obtém a intensidade de campo.

Segundo Martins (2009), esta técnica foi desenvolvida devido ao fato em que considerando a técnica do traçado de raios, um alto esforço computacional era gasto para calcular uma parte irrisória do sinal, já que na maioria dos casos apenas dois ou três raios concentravam cerca de 95% da energia do sinal, como pode ser visto na Figura 4, sendo suficiente para realizar a previsão.

Figura 4 – Percurso direto, traçado de raios e caminho dominante.



Fonte: Woelfle, Wahl, Wertz, & Landstorfer

A figura 4 mostra em sua primeira imagem o modelo empírico do percurso direto, que se baseia em um único caminho entre o transmissor e o receptor. Como visto anteriormente, uma superfície como um prédio causa reflexão, difração e espalhamento, portanto o caminho de visada direta pode não ser o que possui a maior intensidade de campo. Em seguida, temos o modelo determinístico do traçado de raios, que calcula qualquer rota encontrada entre o transmissor e o receptor, podendo ser dezenas ou centenas de caminhos, que causa um processamento de informação desnecessário, já que poucos raios carregam a maior parte da energia. Por fim se apresenta o percurso dominante, que através de algoritmos ele determina o caminho de maior potência (Woelfle, Wahl, Wertz, & Landstorfer, 2005).

2.2.2 MODELO UIT-R P.1546-1

A recomendação UIT-R P.1546-1 é o modelo recomendado pela Agência Nacional de Telecomunicações, ANATEL, e é utilizado para previsão ponto-área no intervalo de frequência de 30MHz a 3000MHz (Recommendation ITU-R P1546, 2003). O modelo se baseia em curvas de intensidade de campo para 1kW de potência efetiva irradiada em frequências nominais de

100, 600 e 2000MHz, sendo um gráfico para cada tipo de cenário: terra, água ou uma mistura de ambos.

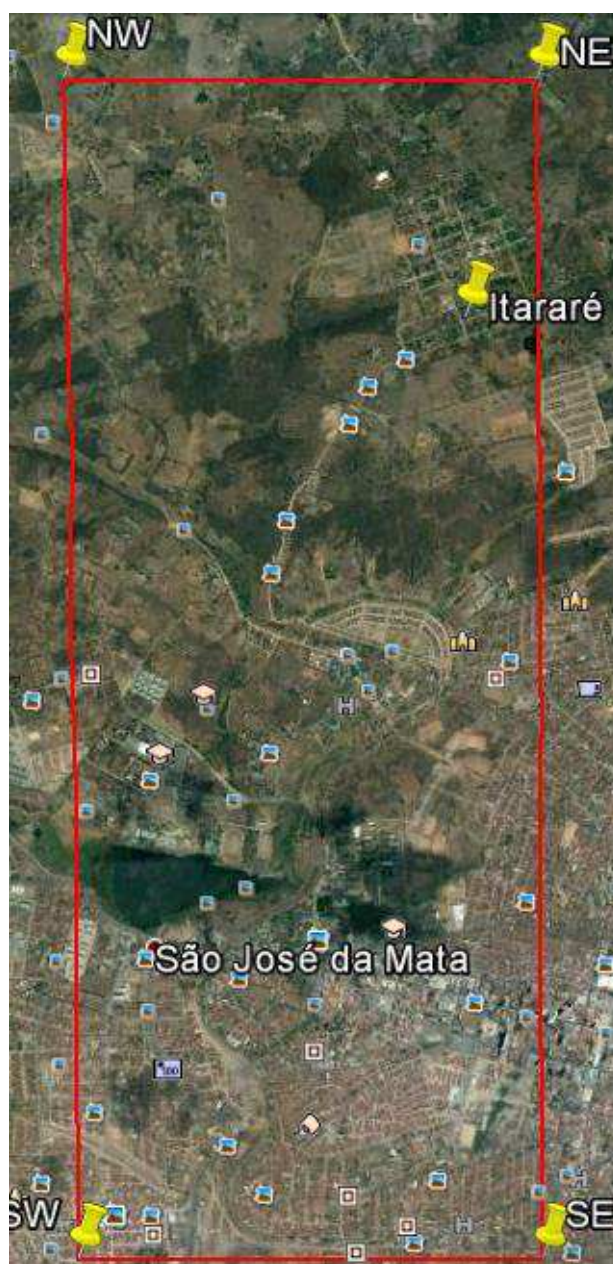
Tanto as curvas aquáticas como as curvas terrestres foram obtidas em regiões de clima temperado dos Estados Unidos e Europa, contendo mar de águas quentes e frias, como por exemplo o mar do Norte e o mar Mediterrâneo. Vale ressaltar que esse modelo não varia os resultados segundo a polarização.

Este método abrange várias situações possíveis. Como se trata de uma recomendação, sua norma inclui sugestões de como obter parâmetros como a máxima intensidade de campo, as alturas das antenas transmissora e receptora, a variabilidade do tempo e do local, o ângulo de desobstrução do terreno, perdas de transmissão, variabilidade do índice de refração atmosférico e também a compatibilidade com o método de Okumura-Hata (Recommendation ITU-R P.1546-1, 2003).

3 METODOLOGIA

O cenário analisado foi uma região de dimensões 5530x2200m, mostrada na Figura 5, onde a antena em estudo está incluída. A área considera a universidade e o bairro dos professores a fim de verificar a intensidade do sinal na simulação dos modelos e comparar qual modelo melhor se adequa àquela região da cidade de Campina Grande.

Figura 5 - Cenário



Fonte - Google Earth

Um possível desafio aos modelos P1546-1 e percurso dominante será lidar com a topografia da cidade, tendo em vista que sinais na banda UHF são mais afetados pelas características do terreno. Campina Grande se encontra em um planalto e possui diversas formações montanhosas, especialmente na região dos bairros universitários, que poderá danificar a recepção desse sinal. Um mapa da topografia da superfície do cenário pode ser visto nas Figuras 6 e 7, com vista de topo e 3D respectivamente.

Figura 6 - Topografia do cenário

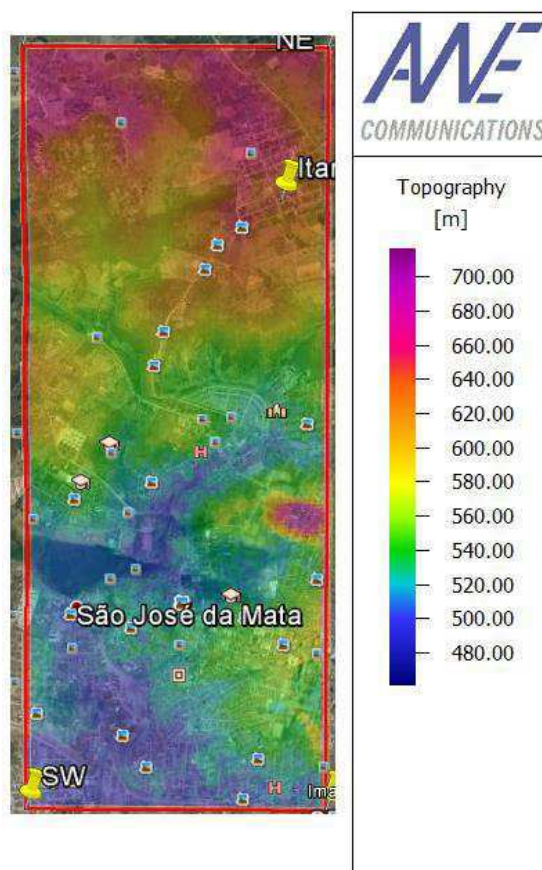
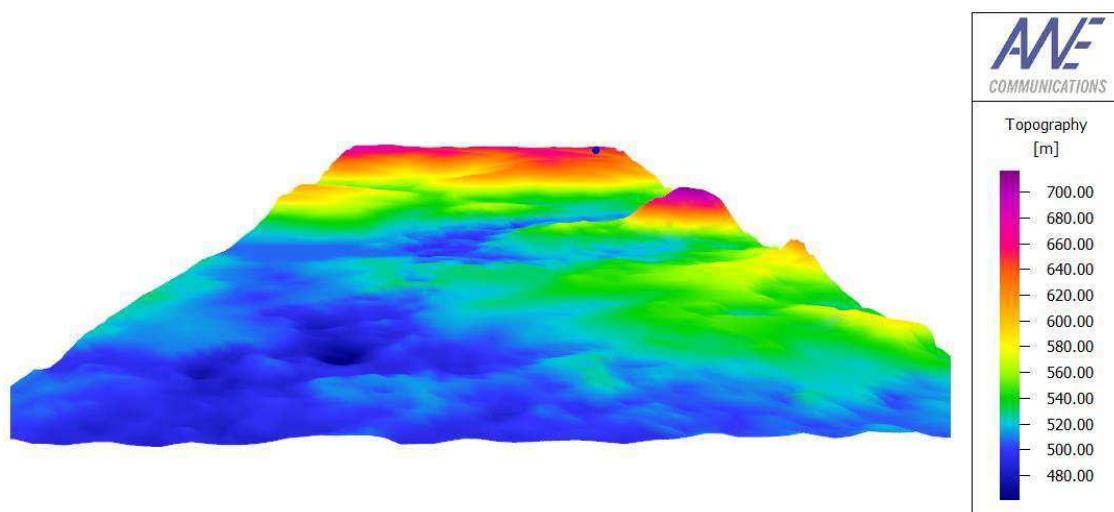


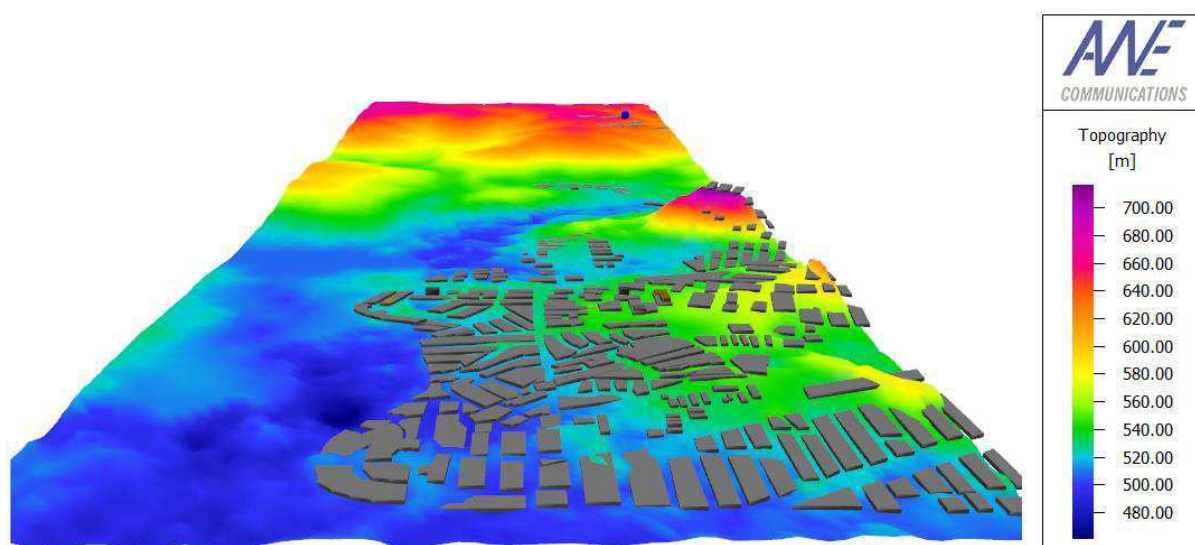
Figura 7 - Relevo em 3D



Para as simulações, foi utilizado o ambiente do software WinProp® juntamente com as ferramentas extensão AMan e WallMan. O WinProp permite o cálculo do campo na região e possui vários modelos de série disponíveis, como por exemplo o Okumura-Hata, COST 231, percurso dominante, entre outros. O software é de uso tipicamente comercial e também mostra resultados diversos, de topografia a taxa de bit. A extensão AMan foi utilizada para desenhar a antena em uso a partir do seu diagrama de irradiação a fim de se obter um resultado mais perto do real e por fim o WallMan foi empregado para construir uma camada das construções existentes.

A simulação foi realizada para os dois modelos considerados nesse trabalho: a recomendação P. 1546-1 e o modelo do percurso dominante. Ambos possuem uma previsão ponto-área, mas na simulação para a recomendação P.1546-1 utiliza apenas o mapa da topografia. Já para o método do percurso dominante, a urbanização da região é imprescindível para o cálculo da intensidade de campo, portanto foi construído uma máscara com as construções da região utilizando o WallMan para sobrepor o mapa da topografia. A Figura 8 mostra o perfil da região construído no WallMan.

Figura 8 - Relevo com camada de edificações



O sistema de TV digital considerado neste trabalho foi a TV Itararé, que ocupa o canal UHF 18 de frequência 494MHz a 500MHz. Segundo o sistema Mosaico da Anatel, as características da estação estão na Tabela 1 e antena está localizada no alto de um morro no bairro Cuités, tendo uma boa visada da cidade. Nas tabelas 2, 3 e 4 encontram-se os detalhes técnicos específicos também encontrados no sistema Mosaico do transmissor, da antena e da linha de transmissão principal respectivamente.

Tabela 1- Descrição do sistema

Nome/Razão Social	Fundação Pedro Américo
Serviço	Geradora de Radiodifusão de Som e Imagem - Digital
Classe PB	B
Canal	18
Frequência PB	494MHz a 500MHz

Tabela 2 - Características técnicas: Transmissor Principal

Fabricante	Hitachi Kokusai Linear Equipamentos Eletrônicos SA
Modelo	IS71K1LQ
Código de homologação	029570900352
Potência de operação	0,055kW

Tabela 3 - Características técnicas: Antena Principal

Fabricante	Ideal Antenas Profissionais
Modelo	ISD41836UT
Ganho máximo	7,6dBd
Polarização	Horizontal
HCI	61,58m
Inclinação de Feixe	0°
Orientação do zero do diagrama	0° em relação ao norte verdadeiro
Descrição da antena	Omnidirecional

Tabela 4 - Características técnicas: Linha de Transmissão

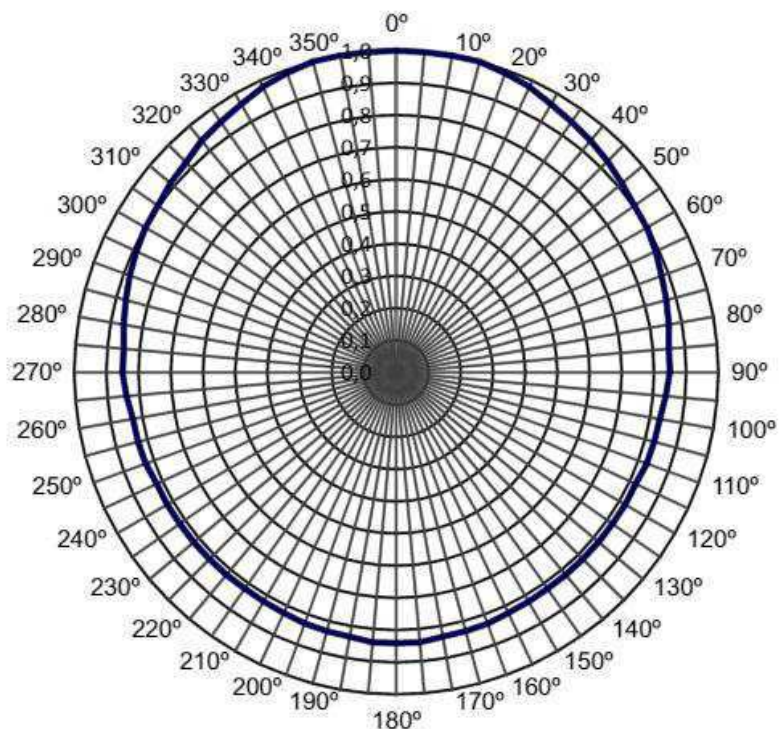
Fabricante	DRKA CABLETEQ BRASIL
Modelo	RF 1.5/8 – 50
Comprimento	80m
Impedância	50 Ohms
Atenuação	1,58dB/100m

A antena utilizada no sistema é omnidirecional e, segundo o seu *datasheet*, abrange a faixa de frequência 470MHz a 806MHz, ou seja, do canal 14 ao 69. Sua transmissão é broadcast e para esse sistema foi implantado uma antena de 4 fendas alimentada por cabos de espessura de 5/8” a ser instalada no topo da torre. As Figuras 9 e 10 mostram o seu diagrama de irradiação

de azimute e elevação, que foi utilizado para construir a antena utilizada no ambiente de simulação e o seu datasheet na seção dos anexos.

Figura 9 - Diagrama de azimute da antena Ideal

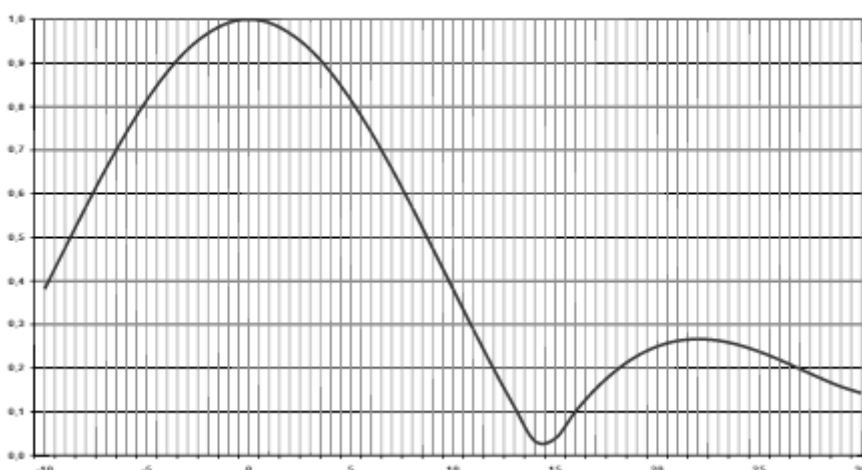
Diagrama de Azimute Omnidirecional



Fonte: Datasheet Antena Slot Ideal

Figura 10 – Diagrama de elevação da antena 4 fendas

4 Fendas



Fonte 1: Datasheet Antena Slot Ideal

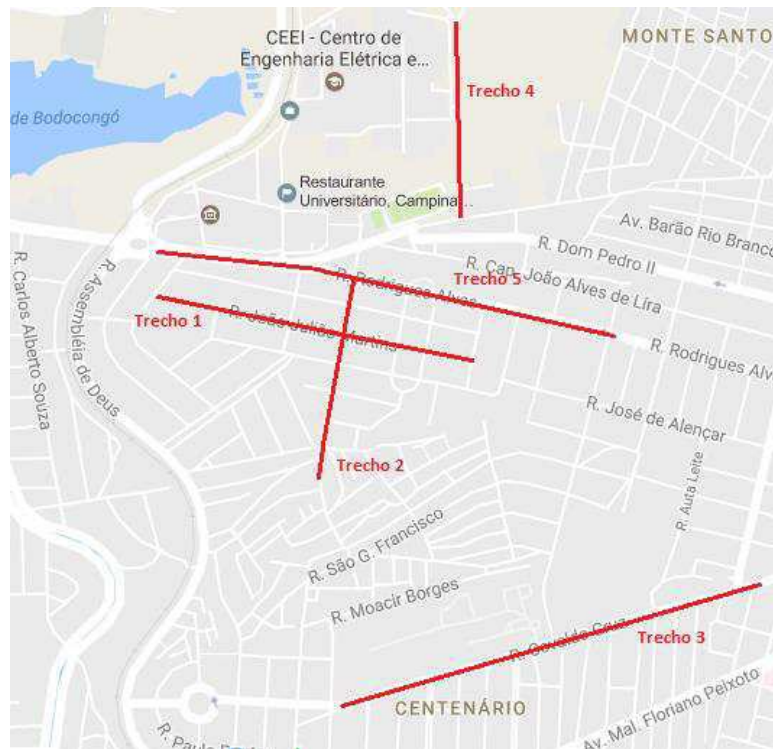
3.1 MEDIÇÕES

Apesar dos modelos computacionais fornecerem detalhes importantes sobre a área de cobertura, medir o sinal após a sua implantação se torna imprescindível a fim de validar as predições. As medições foram realizadas em uma campanha utilizando o Analisador de Espectro Portátil N9342C, da Keysight. Uma antena quarto de onda de ganho 6dBi com altura 1,5m e um GPS foram conectados ao analisador. Dentro do cenário foram escolhidos cinco trechos com o propósito de obter intensidades de campo em diferentes lugares da região, que se encontra na Tabela 5 e Figura 11. Em cada um dos trechos foram tomadas amostras da intensidade de campo regularmente com o propósito de comparar com os valores de predição dos modelos.

Tabela 5 - Trechos das medições

Trecho 1	Rua João Julião Martins
Trecho 2	Rua Abel Costa
Trecho 3	Rua Osvaldo Cruz
Trecho 4	Rua Leniel Sucupira M Deajmeira
Trecho 5	Rua Rodrigues Alves

Figura 11 - Percurso das medições

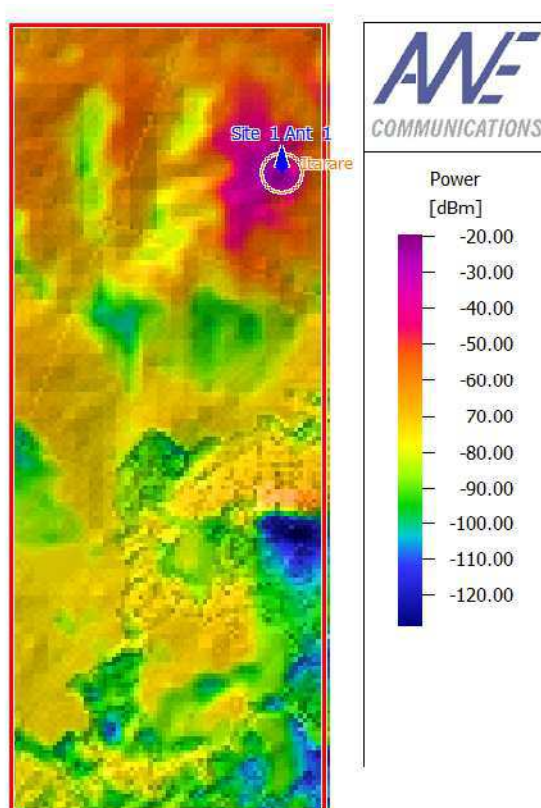


Fonte: Google Maps

4 RESULTADOS

Como o trabalho foi dividido em duas seções principais, a simulação e o ensaio das medições, este tópico vai tratar primeiramente sobre as predições das simulações. Após inserir os dados da estação, como frequência do canal e altura da antena, foram simulados dois modelos: a recomendação P.1546-1 e o modelo do percurso dominante. Como dito anteriormente, o software utilizado foi o WinProp, que mostra a intensidade do campo no cenário considerado. As simulações utilizaram também a antena projetada no software AMan, que seguiu o diagrama de irradiação do datasheet da antena da marca Ideal, a mesma cadastrada no sistema da Anatel.

Figura 12 - Resultado: recomendação P.1546-1

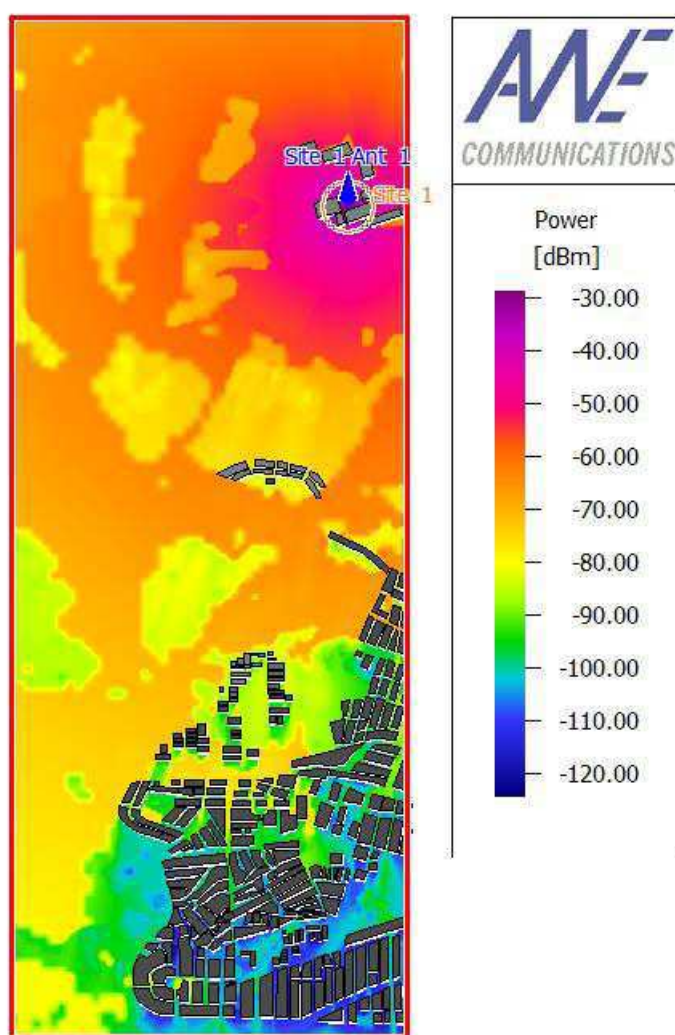


Primeiramente a Figura 12 mostra o resultado da distribuição da intensidade de campo para o modelo da recomendação P.1546-1. Como visto previamente, o limite mínimo para a recepção do sinal é de -77dBm, portanto esse modelo abrange uma região considerável na zona central. Apesar do bom desempenho, há uma relevante área que não conseguiria decodificar o

sinal como se apresenta. No mapa, essa região está no bairro do conjunto dos professores e no Monte Santo.

A recomendação P.1546-1 é um modelo que prevê o campo através da topografia e do tipo do terreno, então através da Figura 6 é possível comprovar a influência do relevo na propagação do sinal. A região onde o sinal se reproduz com menor intensidade é em um morro que possui altitude de cerca de 680m, onde o sinal não passa de -120dBm nessa simulação. Em uma análise geral, o modelo da recomendação P.1546-1 proveu bons resultados, sendo necessários apenas pequenos ajustes para atingir uma maior área de cobertura.

Figura 13 - Resultado: modelo percurso dominante



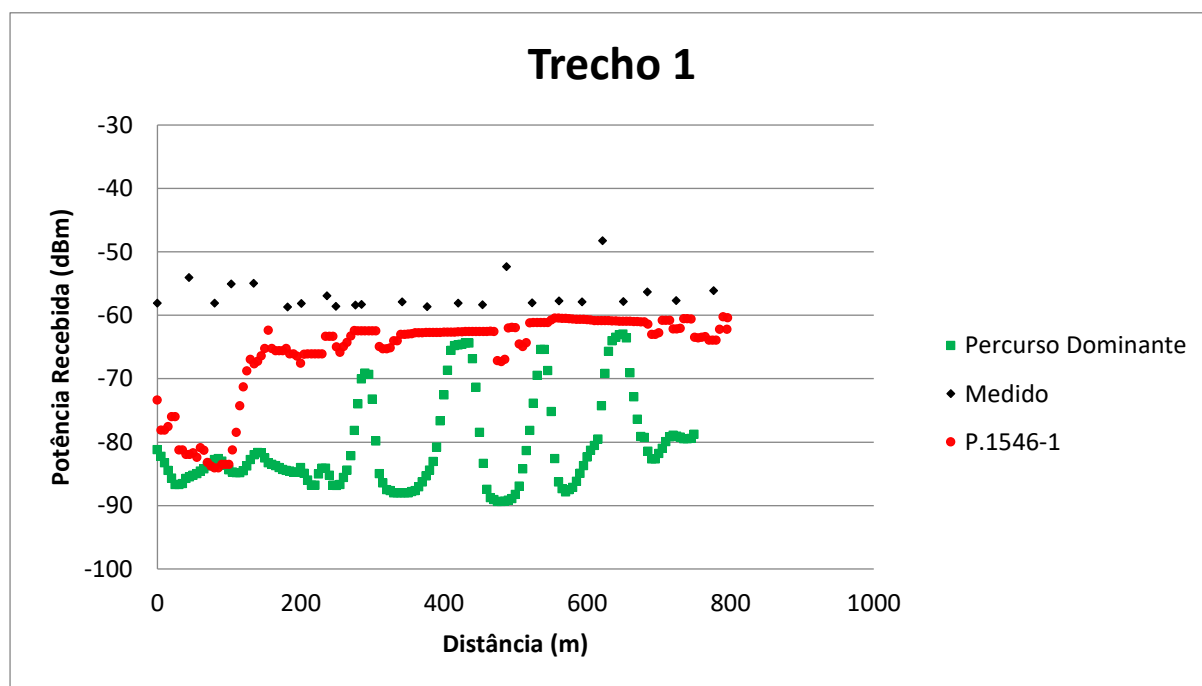
Em seguida foi obtido o resultado para o modelo do percurso dominante, mostrado na Figura 13. Esta modelagem necessita dos detalhes da urbanização da área para um cálculo mais preciso da previsão da intensidade de campo, portanto foi construída uma máscara com as construções utilizando o software WallMan e sobreposta no mapa. É esperado que a

intensidade do sinal diminua a medida que a barreira de edificações aumente devido às sombras causadas pelas mesmas.

O resultado final mostrou um resultado aproximadamente igual ao modelo anterior na zona intermediária do mapa, que é uma área não urbanizada, e para a área de interesse tivemos um resultado pior se comparado à recomendação P.1546-1. Como esperado, as edificações criaram sombras e prejudicaram a propagação do campo, segundo esse modelo, tanto que na maioria da região com construções o sinal previsto está abaixo de -90dB.

Por fim, é possível ver que enquanto um modelo é influenciado mais pela geografia do terreno, o outro é influenciado pelas construções. Para verificar qual técnica melhor descreve essa região da cidade de Campina Grande, foram feitas as medições da intensidade de campo a fim de complementar os estudos das simulações. Os resultados são mostrados a seguir.

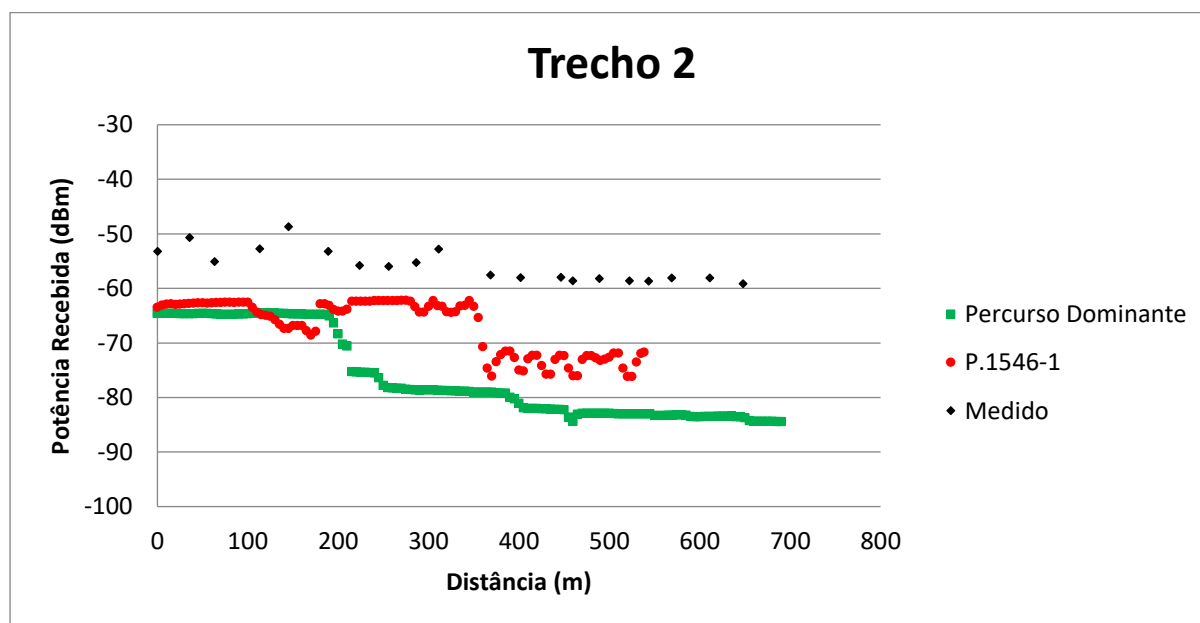
Figura 14 - Resultado: Trecho 1



Para a análise dos resultados, as predições de campo de cada modelo e os valores das medições foram sobrepostos. No gráfico da Figura 14 encontram-se os resultados do trecho 1, que consiste na rua João Julião Martins em um caminho de aproximadamente 800m. Consistentemente com as análises anteriores, o gráfico mostra que o modelo da recomendação P.1546-1 seria recebido em quase toda totalidade e, a partir dos 250m de distância, os valores previstos se aproximam dos valores medidos.

Analisando o resultado da técnica do percurso dominante, a resposta do modelo possui uma grande oscilação após os 200m e a maioria do sinal está abaixo do nível mínimo de recepção. Para esse trecho, o modelo da recomendação P.1546-1 tem uma resposta mais aproximada do nível real do sinal.

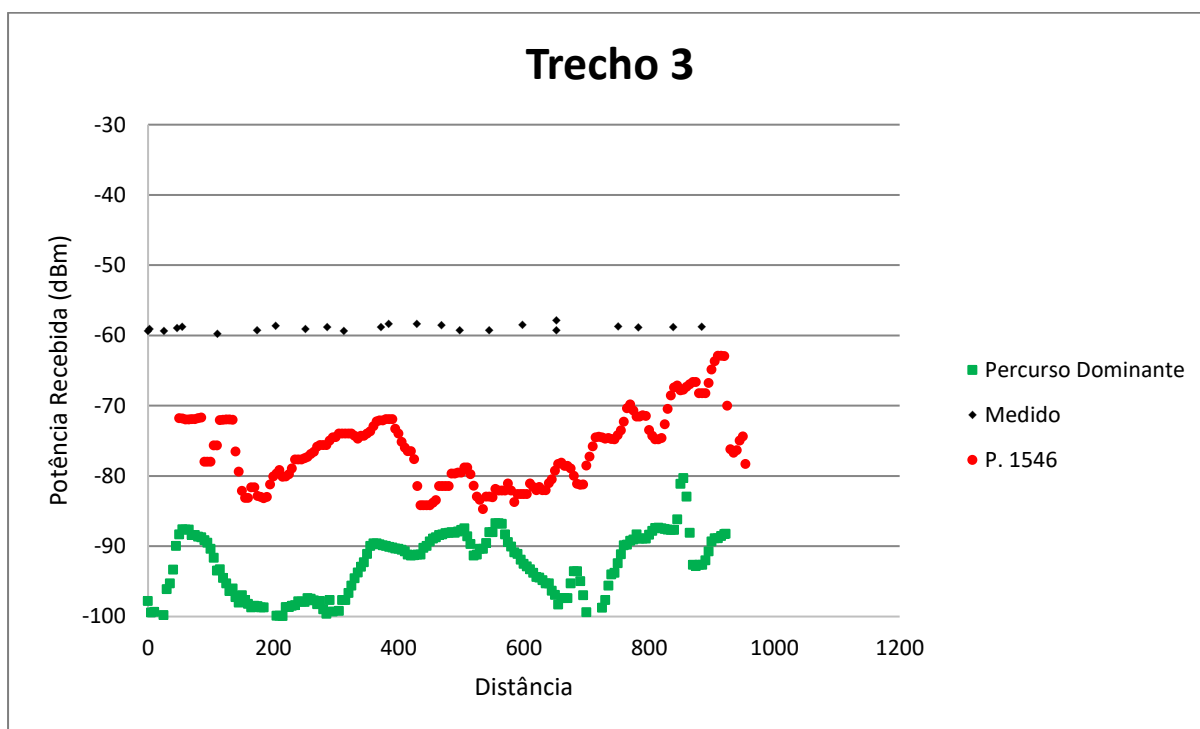
Figura 15 - Resultado: Trecho 2



O trecho 2 se trata da Rua Abel Costa, mostrado na Figura 15, onde, novamente, o modelo do percurso dominante está abaixo do nível mínimo de recepção. A previsão para esse modelo tem um valor mínimo próximo do nível de -77dBm, que é a sensibilidade para a recepção do sinal da TV digital, portanto esse trecho se apresenta com um sinal melhor que o caso anterior. O modelo da recomendação P.1546-1 se mostrou novamente mais próximo dos valores medidos, sendo possível receptionar ambos para qualquer distância, mas nos valores medidos, o nível mínimo recebido está por volta dos -60dBm, enquanto o modelo P.1546-1 por volta de 77dBm.

Vale ressaltar que nas medições foi medido o valor da intensidade do campo recebido, que não possui valores fixos para qualquer ponto. Por exemplo, se a campanha das medições for realizada novamente, provavelmente não vai ocorrer o mesmo valor de campo para um mesmo ponto devido às inúmeras interações com o ambiente que podem ocorrer, além de interferências construtivas e destrutivas. Portanto, a diferença entre os valores medidos e os previstos está com uma margem aceitável.

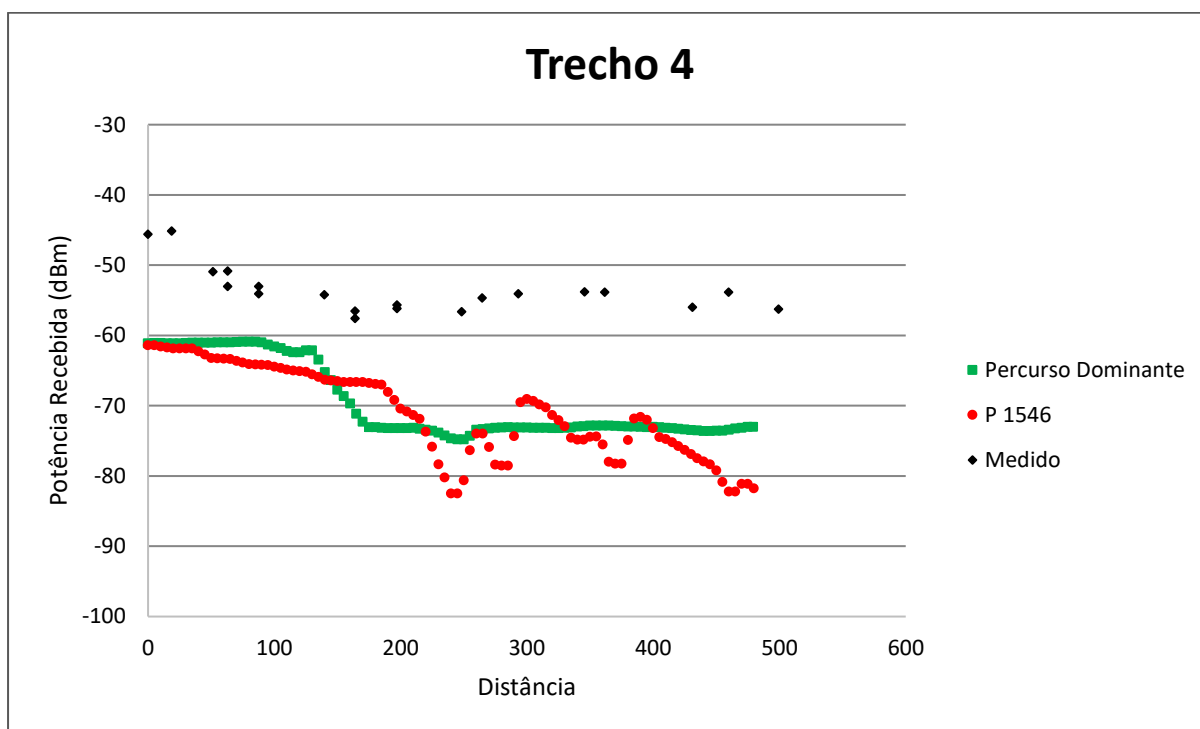
Figura 16 - Resultado: Trecho 3



Para o caso do trecho três, mostrado na Figura 16, obteve-se o pior resultado dentre os gráficos. Localizado na Rua Osvaldo Cruz, este percurso está próximo do limite inferior do gráfico e tanto para o modelo do percurso dominante quanto para a recomendação P.1546-1 os valores previstos estão quase sua totalidade abaixo dos 70dBm, contrastando com o valor quase constante de -60dBm medido.

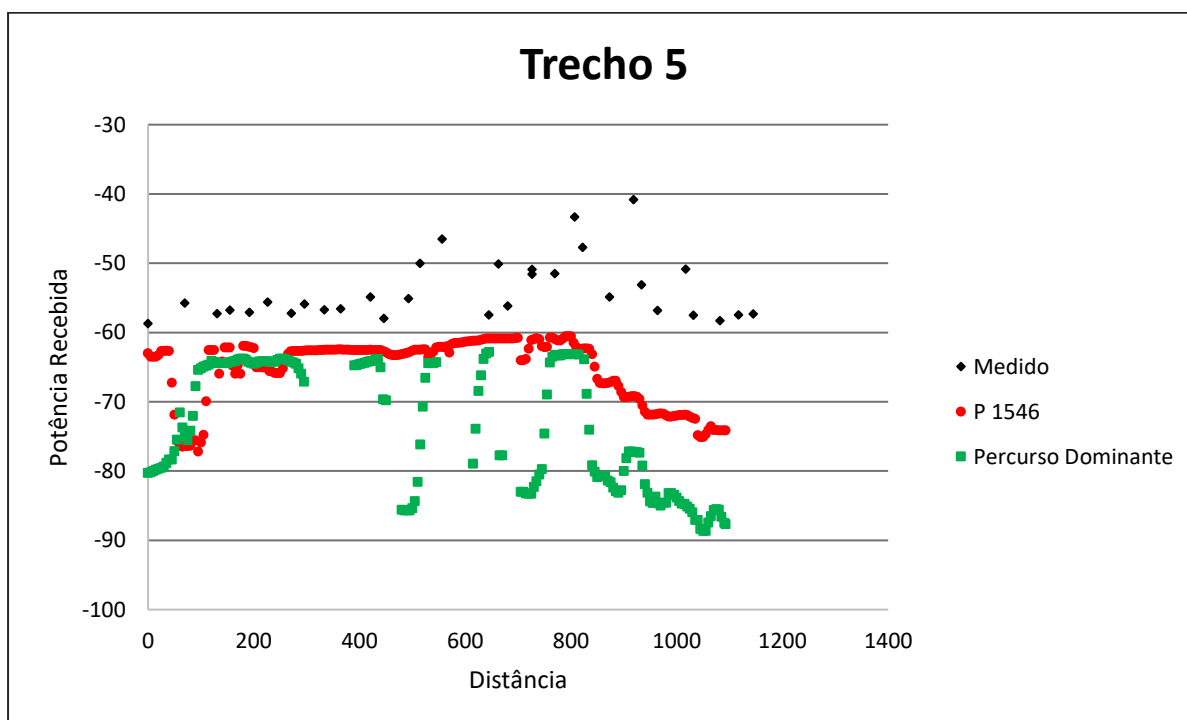
Teoricamente, os valores obtidos nesse trecho fazem sentido. O modelo do percurso dominante perde na intensidade de campo a medida que se afasta da antena e com a quantidade de edificações do percurso, aumentando a quantidade de reflexões e difrações. Este trecho se trata do percurso de teste mais afastado da antena e com todas as construções entre a antena transmissora e receptora, fazendo com que as perdas sejam maiores nesse caminho. Para a recomendação P.1546, além da distância para a antena, as perdas aumentam com a variação da topografia. Coincidentemente, como pode ser visto na Figura 6, a topografia desse trecho é um pouco mais elevada, podendo ter interferido na previsão do sinal.

Figura 17 - Resultado: Trecho 4



Neste caso do trecho quatro obteve-se um nível medido excelente de recepção, como pode ser visto na Figura 17. O trecho 4 se refere à rua lateral da Universidade Federal de Campina Grande, a Rua Leniel Sucupira M Deajmeira, que obteve a melhor média de recepção do sinal. É importante ressaltar que as três funções têm o mesmo comportamento, com o ponto de máximo no início do percurso e diminuindo com o aumento da distância. Ao contrário dos três casos anteriores, o modelo que descreveu um comportamento mais próximo do medido foi a modelagem do percurso dominante. Apesar dessa aproximação numérica, ambos os modelos tiveram respostas satisfatórias.

Figura 18 - Resultado: Trecho 5



O trecho cinco, que se trata da Rua Rodrigues Alves, mostrado na Figura 18. O trecho possui um resultado interessante. As três curvas descrevem uma baixa a partir dos 800m, mas no início, enquanto a curva do modelo P.1546-1 cai seu valor, a do modelo do percurso dominante cresce e o valor medido permanece aproximadamente constante. As curvas do modelo P.1546-1 e do valor medido tem trajetórias mais semelhantes e de valores numéricos mais próximos, apesar de algumas medidas corretivas serem capazes de corrigir a recepção no modelo do percurso dominante.

Esse gráfico também possui alguns espaços vazios na curva do modelo do percurso dominante. Isso se deve ao programa, que não consegue prever o valor do campo se há alguma edificação no caminho, resultando, portanto, em espaços vazios.

Em suma, os cinco trechos tinham como objetivo comparar os modelos com os valores medidos, formando uma malha. Em todos os casos, os resultados tiveram uma resposta aceitável aos valores medidos, mas com uma pequena vantagem, o modelo da recomendação da Anatel P.1546-1 descreveu melhor os valores da campanha de medição.

5 CONCLUSÃO

Este trabalho apresentou a aplicação dos modelos do Percurso Dominante e da recomendação P.1546-1 para caracterização da cobertura do sinal de TV digital da TV Itararé, operando no canal 18 na região dos bairros universitários na cidade de Campina Grande - PB. Esta área da cidade é uma região alta e com formação de alguns morros e possui edificações tipicamente baixas, apesar de ser densamente povoado. Após o estabelecimento de cinco trechos para realizar as medições, estes valores foram comparados aos teóricos e então é possível concluir que o método da recomendação P.1546-1 se adequa melhor àquela região.

Em todos os pontos de medição os valores obtidos estão acima do nível de recepção mínima para o sinal de TV digital, mas caso não tivesse isto poderia ser facilmente corrigido aumentando o ganho das antenas transmissora ou receptora, aumentar a altura da antena transmissora ou aumentar a potência de transmissão. Vale ressaltar que as simulações foram realizadas a partir dos dados encontrados no sistema Mosaico da Anatel, o que não garante que a emissora esteja de fato trabalhando na potência informada.

Os resultados desse trabalho estimulam a continuação desse tipo de estudo. Uma sugestão de trabalho futuro é testar o comportamento de outras modelagens para os mesmos trechos ou até mesmo desenvolver um modelo típico para a cidade de Campina Grande. Este modelo a ser desenvolvido pode ser feito com fatores de correção dos modelos já existentes, adequando para as características da própria cidade.

6 BIBLIOGRAFIA

- Assis, M. S. (2012). *Introdução à Propagação das Ondas Radioelétricas*. Campina Grande: IECOM.
- Barizon, B.-H. M., & Mello, L. A. (2004). *Medidas de Propagação em 2,4 GHz para o Planejamento de Redes Locais de Acesso sem fio*. Rio de Janeiro: PUC Rio.
- Martins, B. W., Dmitriev, V. A., & Lima, M. G. (2009). Modelo do Caminho Dominante para Análise de Propagação de Ondas Eletromagnéticas em Ambiente Interior. *Ciência e Tecnologia*, 33-39.
- Ramos, G. L., & Siqueira, G. L. (2001). *Medidas de Radio Propagação em 3,5 GHz em Ambientes Urbanos: Análise de Perda de Percurso e Variabilidade*. Rio de Janeiro: PUC Rio.
- Rappaport, T. S. (2009). *Comunicações sem fio: princípios e práticas 2. ed.* São Paulo: Pearson Prentice Hall.
- Sadiku, & Matthew, N. O. (2012). *Elementos do Eletromagnetismo*. Bookman.
- Vasco, C. L., & Borba, M. A. (2013). *Novas Técnicas e Ferramentas Aplicadas ao Sistema Brasileiro de TV Digital*. Curitiba, PR: Omnipax.
- Woelfle, G., Wahl, R., Wertz, P., & Landstorfer, F. (2005). *Dominant Path Prediction Model for Urban Scenarios*. Dresden: IST Mobile and Wireless Communications Summit.