

Redes neurais artificiais para predição de sinal de comunicação sem fio na cidade de Caraúbas-RN

1st Francisco Guilherme Rego Brasil
Bacharelado em Engenharia Elétrica. Ufersa
Universidade Federal Rural do Semi-árido
Caraúbas - Rio Grande do Norte
francisco.brasil@alunos.ufersa.edu.br

2nd Dr. Francisco Carlos Gurgel da Silva Segundo
Departamento de Engenharias e tecnologia. Ufersa
Universidade Federal Rural do Semi-árido
Pau dos Ferros - Rio Grande do Norte
francisco.segundo@ufersa.edu.br

Resumo— Existem alguns problemas que os usuários enfrentam relacionados a comunicação sem fio móvel, sendo um deles a perda de potência de sinal. Utilizando-se dos conhecimentos da rede neural artificial (RNA), este trabalho realizou um levantamento de dados relativos a predição de sinal 4G no município de Caraúbas, situado no Rio Grande do Norte. Considerou-se um raio de sensoriamento de 4 Km no entorno de uma estação rádio base (ERB) no centro da cidade. Foram consideradas variações a cada 45° de ângulo em relação a ERB e testes a cada 500 metros, nos testes avaliou-se a potência de sinal recebida, a latência e as velocidades de *upload*, e *download*. A extração dos dados foi obtida pelos aplicativos, *Info sinal de rede* e *Open Signal*. O modelo de treinamento da rede foi o de retropropagação *Levenberg-Marquardt Backpropagation*, 90% dos dados para treino a rede 5% para validação e 5% para teste. O algoritmo foi desenvolvido no *MatLab* e comparado com os modelos de propagação no espaço livre e o modelo Hata. Nos resultados são apresentados gráficos que expressam o sinal da potência recebida nos quadrantes analisados, e os demais critérios estabelecidos. Por fim é discutido as localidades do município que possuem maior e menor perda de sinal, relacionando os possíveis agentes causadores, melhorias e trabalhos futuros.

Palavras-chave— Estação Rádio Base, Modelo de Propagação, Perda, Rede Neural Artificial, Sinal.

I. INTRODUÇÃO

Diante das evoluções e desafios enfrentados na atual geração, os indivíduos necessitam de demanda computacional móvel para atender as tarefas diárias mais simples ou de maior complexidade. Logo, surge uma questão que necessita ser suprida e atendida. Para minimizar falhas no acesso a rede, é necessário analisar aspectos presentes no meio computacional, no geral os dispositivos estão atrelados a uma rede fixa cabeada ou uma rede móvel, que é o objeto de estudo neste projeto [1].

A problemática do respectivo projeto é buscar possíveis agentes causadores da perda de potência do sinal de rede móvel sem fio, nos locais mapeados na cidade. Para isso, será implementado o estudo das redes neurais em pontos no município de Caraúbas. O objetivo será mapear alguns locais da cidade e analisar onde a potência de sinal possui uma boa qualidade de uso, com as menores perdas possíveis e bom desempenho aos usuários. Ao final do projeto, será possível visualizar os possíveis locais aos quais é possível ter uma melhor conexão, e assim realizar levantamentos das mesmas.

Para solucionar essa problemática o ideal são conhecimentos prévios sobre redes neurais atrelados a modelos de

propagação de sinal. RNAs podem ser utilizadas para solução de problemas envolvendo alta complexidade, modelagem de dados, modelos estatísticos e computacionais [2].

A teoria das redes neurais, se baseia em modelos de estudo similares a neurônios biológicos. Assim, uma RNA se baseia no princípio do cérebro humano quando o mesmo é condicionado a desempenhar tarefas. O modelo matemático é de 1943 e proposto por Warren McCulloch e Walter Pitts. Consiste em um conjunto de “n” entradas, sendo essas multiplicadas por pesos, onde os resultados são somados e comparados [3].

II. REFERENCIAL TEÓRICO

A. Modelos de propagação de sinal

No estudo de propagação para sinal rádio móvel, existem especificidades no ambiente em questão, é comum ao longo da trajetória que o sinal sofra influências externas em sua propagação, logo a compreensão do ambiente ajuda a entender possíveis perdas e soluções para melhoria deste sinal [5].

Para análises e apuramentos de dados em pontos no espaço livre, existem modelos de propagação de sinais e equacionamentos para as perdas, o mesmo vale para o modelo Hata.

1) *Perda no espaço livre*: Se trata da perda entre a potência transmitida e a potência recebida em dois pontos no espaço livre, sem presença de obstáculos [5]. Conforme a Equação 1.

$$L_{PL} = 32,46 + 20 \log(d) + 20 \log(f) \quad (1)$$

Em que:

- L_{PL} → Atenuação no espaço livre em (dBm);
- d → Distância entre as antenas transmissoras e receptoras em (Km);
- f → Frequência do sistema em (MHz).

2) *Modelo Hata*: Esse modelo estuda perdas em ambientes externos com distâncias entre 1 a 20 Km e faixa de frequências entre 150 MHz. a 1500 MHz. O modelo foi desenvolvido por curvas experimentais de Okumura, para isso, Hata criou algumas equações para aproximar as curvas [5]. A Equação (2) expressa o modelo.

$$L_{Hata} = 69,55 + 26,16 \log(d) - 13,83 \log(h_t) - a(h_r) + (44,9 - 6,55 \log(h_t)) \cdot \log(d) \quad (2)$$

Em que:

- h_t e h_r → São as alturas das antenas transmissora e receptoras em (m);
- $a(h_r)$ → É o fator de correção para a antena receptora.

B. Redes neurais artificiais

As RNAs partem de modelos matemáticos, sua estrutura é baseada em neurônios com características similares aos mesmos que os humanos possuem. Dentre essas características, pode-se evidenciar suas funcionalidades de receber, transmitir e processar os sinais de informação [6].

A RNA irá trabalhar com estímulos que são alimentados em suas entradas, alimentando os neurônios que estão interconectados entre si ou com outras camadas por meio da sinapse, com a analogia apresentada, o processo de informações aprendidas é constituído de algumas etapas e podem variar conforme o modelo do neurônio [7].

C. Arquitetura da rede neural

Uma RNA possui alguns formatos e disposições, sua usabilidade e necessidade de aplicação é que irá ser a responsável pela estrutura escolhida. A arquitetura sempre terá alguns elementos comuns, sendo eles as entradas, as camadas intermediárias, a quantidade de neurônios, o bias, a função de transferência e o algoritmo que será responsável pelo aprendizado da rede, o resultado será atribuído as respectivas saídas [8].

A Figura 1 representa o modelo esquemático de uma RNA, desde os sinais de entrada até a sua saída.

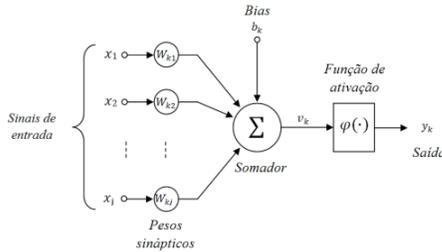


Fig. 1. Neurônio Artificial.

Dentre as estruturas mais utilizadas, tem-se redes alimentadas com camada única, camadas múltiplas, e redes recorrentes. As funções de ativação dentro de uma RNA mais utilizadas são as funções degrau, a linear, a sigmoide e a tangente hiperbólica. Para o aprendizado da rede os principais modelos são o aprendizado supervisionado e o não supervisionado, dentre os quais se encontra a regra de aprendizado por retropropagação ou *Backpropagation* [7].

1) *Backpropagation*: É um treinamento supervisionado o qual a rede é propagada até a saída e retropropagada até o início, ou seja, um padrão é aplicado à entrada e ao chegar à saída, o valor é comparado com o valor desejado, caso não seja atendido aos critérios estabelecidos o mesmo retrocede as camadas anteriores [7]. A retropropagação irá ajustar os pesos sinápticos entre as camadas, sendo atualizados a cada iteração

até convergir ao valor de saída desejada. Os dados inseridos no projeto devem ser reservados parte para validação, teste e treinamento, onde no treinamento é destinado a maior parte dos dados e os demais validam a rede [8].

III. METODOLOGIA

Será abordado o local de coleta de dados, aspectos da localidade, como foi realizada a coleta, quais aplicativos utilizados e como a pesquisa foi desenvolvida. A Figura 2 apresenta um fluxograma esquemático de como procedeu-se a pesquisa e extração de dados até a obtenção dos resultados.

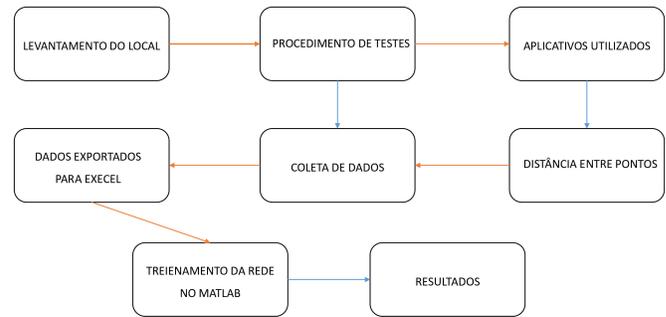


Fig. 2. Fluxograma de procedimentos do projeto

A. Local de análise

Segundo a ANATEL, o Brasil tem cobertura 4G em 99,9% dos municípios. No RN a operadora TIM é a que possui maior cobertura no estado. O projeto foi aplicado na cidade de Carábas-RN. A cidade possui um dos quatro campi da UFERSA e atende a demanda com alunos da região e de outros estados. No site TELECO vinculado a ANATEL, informa que existem 6 ERB no município, sendo duas da operadora TIM, duas da operadora VIVO e duas da operadora CLARO [10].

A operadora TIM foi escolhida por ser mais abrangente. O sinal de análise foi o 4G na faixa de operação de 850 MHz. Dentre as duas ERBs da operadora dispostas na cidade, a escolhida foi a localizada na praça Luiz Carlos, número 36, centro, conforme a Figura 3.



Fig. 3. ERB de referência

B. Coleta de dados

Na coleta de dados, utilizou-se 3 aplicativos disponíveis na *Google play store*: O *Info sinal de rede* foi utilizado para medir a potência recebida pelo sinal móvel; O *Open Signal*, foi aplicado nos testes de latência, velocidade de *Download* e *Upload*; O *Adidas Running*, objetivou-se nas medições das distâncias da cidade. A coleta se deu em 3 dias distintos da semana, com horários entre 8:00 às 18:00 horas.

C. Procedimento de testes

No procedimento de coleta se tinha 20 testes por ponto: 5 para potência recebida; 5 para Latência; 5 para Download; 5 para Upload. O Raio de sensoriamento tinha distância de 4km da ERB, a Coleta era realizada a cada 500 metros e a cada 45°, contendo 8 variações de 0° a 315°. Ao final, se tinham 320 dados por ângulo e 1280 amostras para alimentar a rede neural. A figura 4 ilustra o processo.

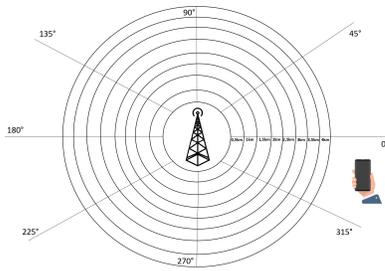


Fig. 4. Modelo esquemático da coleta

D. Levantamento de pontos da cidade

Para mapear a cidade, a mesma foi dividida em quatro quadrantes similar ao plano cartesiano. O primeiro quadrante era responsável pelos ângulos 0°, 45° e 90°; O segundo quadrante entre 90°, 135° e 180°; O terceiro quadrante era dado em 180°, 225° e 270°; E o quarto quadrante em 270°, 315° e 0°. O arranjo mapeado e a divisão dos bairros por quadrante para essa pesquisa é autoral, baseado em [11].

A Tabela I, apresenta a divisão dos bairros por quadrantes. As distâncias até 1 km pertenciam ao centro onde a ERB estava localizada, conforme as distâncias cresciam, as mesmas adentravam aos bairros. Com essa divisão é normal que um bairro esteja entre dois quadrantes pela sua interseção.

TABELA I
DIVISÃO DE BAIRROS POR QUADRANTES

Quadrantes	Bairros
1°(0°, 45°, 90°)	Centro, Sebastião Maltes, Leandro bezerra, Conj. Maria Bandeira.
2°(90°, 135°, 180°)	Centro, Antonio linhares, Conj. Nestor Fernandes, UFERSA.
3°(180°, 225°, 270°)	Centro, Santa Agostinha, Altos são severino e Liberdade, Conj. Nestor Fernandes.
4°(270°, 315°, 0°)	Centro, Leandro Bezera e Alto da liberdade.

O marco inicial para a coleta foi a rua Major Cesário, esse ponto é o marco 0° a 500 metros da torre. Até 1,5 Km da torre, a coleta foi realizada de maneira radial.

Após 1,5 km o percurso radial era inviável, esse percurso se tornava dificultoso em virtude dos elementos naturais e estruturais da própria cidade, como áreas de vegetação alta, residências e prédios, final de ruas, cruzamento na rodovia, terrenos baldios, propriedades privadas, mudança entre bairros, trânsito, entre outros fatores. A partir de 2 km, os dados foram coletados de maneira a seguir o seu ângulo, o que tornou a coleta ágil, diminuindo a troca de bairros.

IV. RESULTADOS

Após a coleta de dados, os mesmos foram exportados em uma planilha no *excel* e alimentados ao algoritmo de aprendizado, utilizando-se do método de retropropagação. Dos dados utilizados, 90% serão para treinamento, 5% para validação e os 5% restantes para testes.

A Figura 5, apresenta um modelo esquemático para a RNA da potência recebida, O modelo dotado foi o de camada única, o mesmo esquemático vale para a latência, e para a velocidade de *download* e *upload*, visto que todas utilizam as mesmas entradas, sendo estas ângulo e distância.

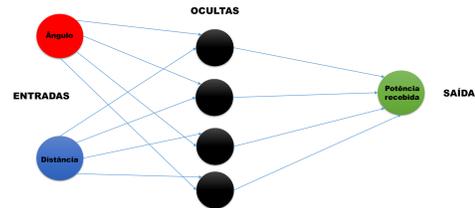


Fig. 5. Modelo esquemático RNA da Potência recebida

A. Resultados da coleta

A figura 6 extraída do aplicativo *Open signal*, apresenta os pontos da coleta em um paronarama geral após a coleta. Com os dados coletados, e transferidos para o *excel*, os mesmos foram inseridos ao algoritmo *Levenberg-Marquardt Backpropagation* no *Matlab*.

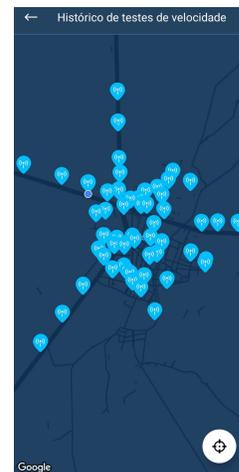


Fig. 6. Resultado dos testes *Open signal*

B. Resultados do treinamento da RNA

No *Matlab*, as entradas normalizadas foram inseridas, a função de ativação é a logarítmica sigmóide. O critério de parada para a potência recebida da rede foi definida como 0,001. O número de Epocas foi de 50000 e a quantidade de neurônios foi 80, o critério de escolha do erro foi por meio de tentativas e erros ajustados na *toolbox* do *nnTool* (RNA). O erro quadrático médio ficou em 0,0055 dentro do estabelecido. A Figura 7 mostra o resultado do treinamento para a potência recebida, enquanto na Figura 8 tem-se o erro médio quadrático.

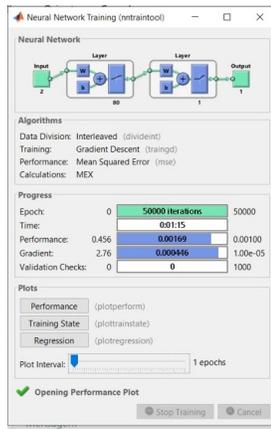


Fig. 7. Treinamento da potência recebida pela rede neural no Matlab

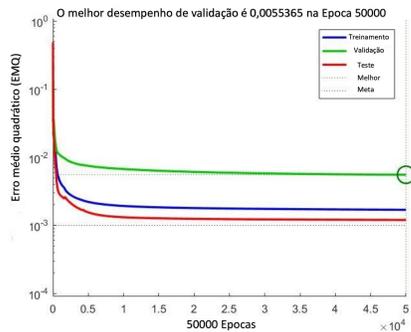


Fig. 8. Erro médio quadrático da Potência recebida

Após o treinamento, os valores importados geraram os gráficos dispostos nas figuras subsequentes. Para as devidas interpretações, é necessário definir alguns valores em dBm de referência geral usados na indústria de telecomunicações, os critérios definem a potência de sinal recebida, com classificações de *Excelente* a *Muito fraco* baseado em [9].

- Excelente: -70 dBm ou melhor
- Bom: -80 dBm a -70 dBm
- Médio: -90 dBm a -80 dBm
- Fraco: -100 dBm a -90 dBm
- Muito fraco: -100 dBm ou pior

C. Previsão da potência recebida

A Figura 9 mostra o resultado do primeiro quadrante com valores de potência em 0°, 45° e 90°. Para 0° o melhor

valor está em 2,5 km, com um valor próximo de -77 dBm classificado como bom. Para 45° próximo a 1,5 km, temos um ponto muito fraco e tende a um valor médio entre -90 a -100 dBm. Em 90°, a potência decai em 1 km iniciando com valor entre -76 dBm e em 1,5 km, o valor chega a -107 dBm. O primeiro quadrante apresenta discrepâncias entre os ângulos que podem ser explicadas pelas variações de altitude da cidade, esse quadrante abrange certa parte do centro e um pouco do bairro Leandro Bezerra, no qual elevações e desníveis de altitude são bem consideráveis.

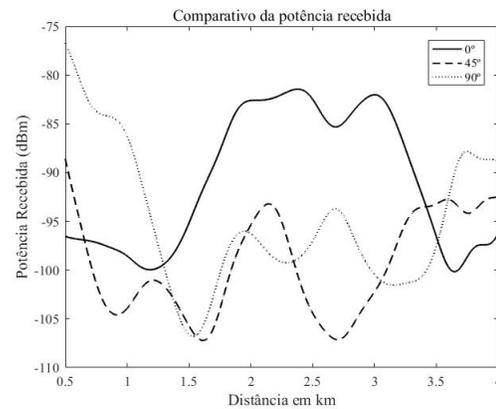


Fig. 9. Potência recebida no primeiro quadrante

Na Figura 10, o segundo quadrante para a potência, se inicia em 135° com sinal forte em -75 dBm, mas enfraquece e chega a ter -85 dBm, em 1,5 km, é possível visualizar um sinal muito fraco e ao chegar aos 4 km, o valor é em média -90 dBm. Em 180° o valor inicial até 1 km é crescente e muito bom de -70 dBm, após isso o valor decresce próximo a -110 dBm, sendo considerado um sinal ruim.

É possível observar que os ângulos das curvas estão próximas, dentre os critérios estabelecidos tem-se sinais classificados como excelentes em 180°, nesse quadrante o sinal não possui grande interferência de prédios, com um bom aproveitamento para propagação em espaço livre.

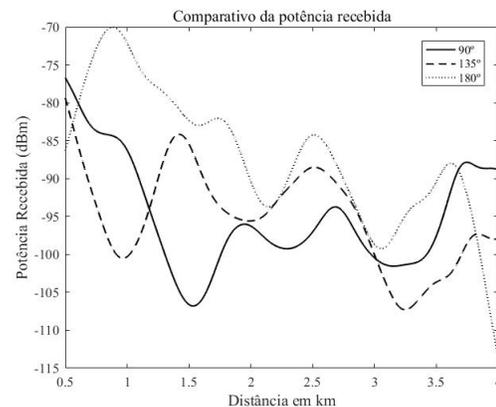


Fig. 10. Potência recebida no segundo quadrante

O terceiro quadrante na Figura 11, apresenta em 225° a potência com valor próximo de -65 dBm, e finaliza muito fraco -110 dBm. Em 270° o sinal decresce com valor fraco antes de alcançar a 1 km; entretanto, o sinal tem uma melhora entre 2 a 2,5 km, mas finaliza com uma queda em -110 dBm.

Esse quadrante se caracteriza como o melhor da pesquisa, a maioria dos setores associados são residências térreo, sem grandes edifícios e com características de relevo sem mudanças bruscas de altitude.

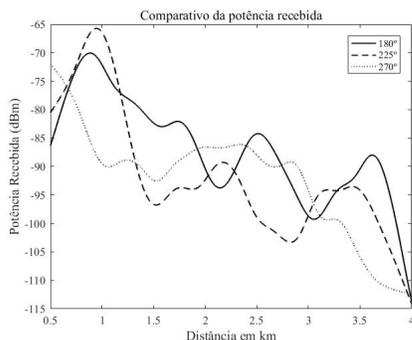


Fig. 11. Potência recebida no terceiro quadrante

No quarto quadrante, a potência recebida é ilustrada na Figura 12, em 315° a potência começa fraca mas chega a ter um sinal classificado como muito ruim, mas entre 1,5 a 2 km, o sinal tem uma crescente melhora chegando a -80 dBm, mas volta novamente a decair, finalizando com um valor em -115 dBm. Esse quadrante é o que possui os maiores desníveis de altitude, pois engloba boa parte do centro que possui grandes edifícios e abrange o bairro alto da Liberdade que possui um maior desnível.

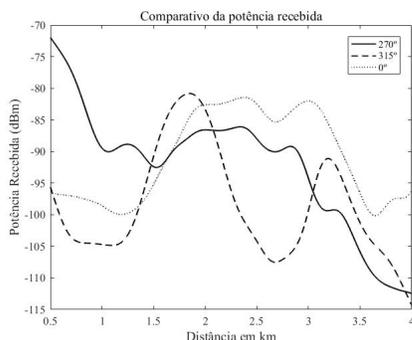


Fig. 12. Potência recebida no quarto quadrante

D. Previsão da Latência

Para os valores de latência entre 1 a 1,5 km, se tem um atraso superior a 150 ms, em contrapartida entre 1,5 a 3 km, os valores de atraso são mais baixos, por volta de 30 ms. Por fim aos 4 km o valor se estabiliza em 60 ms. O que pode-se extrair da Figura 13 é que a velocidade e o atraso para a rede não necessariamente será maior conforme a distância aumenta, quem mora ou utiliza o serviço de dados ao raio de

1 km da torre, possui velocidades melhores, entretanto, para a entrada de algum bairro após o centro, os valores tendem a um maior atraso em virtude do arranjo urbanístico concentrar o maior número de pessoas, prédios e elementos infraestruturais justamente no centro.

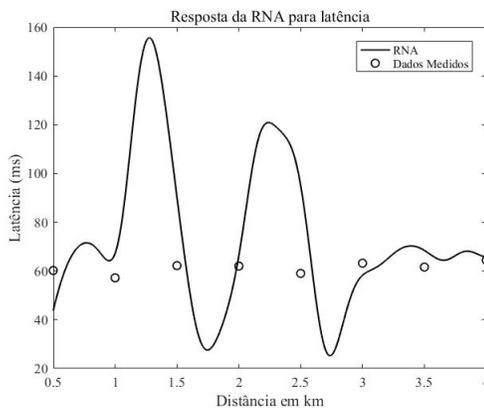


Fig. 13. RNA para latência

E. Previsão da velocidade de Download

Na Figura 14, pode-se observar que a curva para velocidade de download tem bons valores iniciais próximos a 100 Mbps, entretanto, após 1 km da ERB esse valor decai, estando próximo a 60 Mbps, após 1,5 km esse valor cai pela metade, ficando próximo de 30 Mbps. Entre 2 a 2,5 km se tem uma alta na velocidade, entretanto em 3 km o valor tende a se estabilizar por volta de 50 Mbps, até atingir o valor final do raio. É um valor razoável, visto que, 100 Mbps para velocidade de download é um valor consideravelmente bom para utilização em tarefas diárias que a maioria dos usuários necessitam [11].

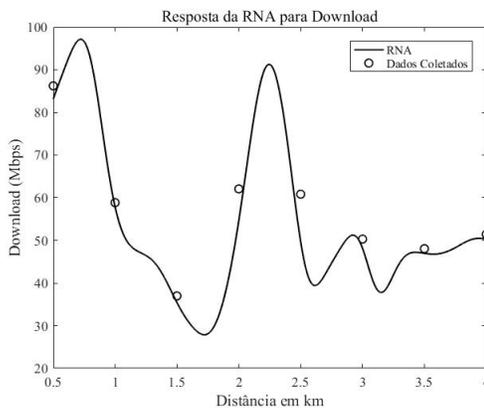


Fig. 14. RNA para Download

F. Previsão da velocidade de Upload

Conforme é possível visualizar na Figura 15, entre 1 a 1,5 km é possível observar valores muito bons, próximos a 40 Mbps, o que já é considerado uma boa velocidade para envio de dados, é possível notar que o valor decai bastante até 2,5

km da ERB, chegando a quase 5 Mbps, entretanto, o valor após 3 km ultrapassa os 40 Mbps, mas aos 4 km o valor volta a decair novamente, chegando a 5 Mbps. A velocidade de *upload* é bastante variável, entretanto, é possível observar que a maioria do comportamento da curva é que a mesma tende a decrescer conforme aumenta-se a distância entre o ponto de referência e a ERB.

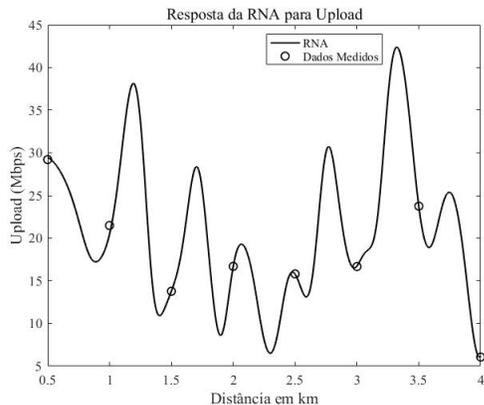


Fig. 15. RNA para Upload

G. Comparativo entre RNA e modelos de propagação

A curva da RNA na Figura 16 mostra o comportamento para a potência recebida em 0° conforme a coleta. O modelo Hata, assim como o modelo de espaço livre tem uma projeção de propagação que decai, os fatores que podem se levar em consideração são os obstáculos que o sinal enfrenta até chegar nessa localidade, a quantidade de usuários que podem estar usando a rede naquele determinado momento, o horário da coleta, a propagação do sinal, dentre outros fatores influentes.

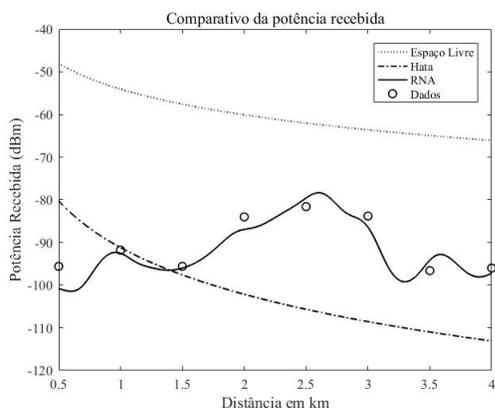


Fig. 16. Comparativo entre RNA e modelos de propagação

H. Resultados do mapeamento

Com a análise gráfica, podemos extrair um panorama com alguns detalhes da perda em alguns bairros, e próximo a UFERSA, o mesmo pode ser visualizado na Tabela II. Conforme o mapeamento e o levantamento realizado, podemos destacar que o bairro Alto da Liberdade é o bairro mais afetado

com a perda de sinal de potência recebida, em virtude de ser um pouco afastado do centro e ser um dos maiores da cidade. O melhor ponto com potência recebida foi no centro, entre 0,5 a 1 km no terceiro quadrante em 225°.

TABELA II
LEVANTAMENTO DA POTÊNCIA RECEBIDA

Levantamento de localidades				
Bairros	Quadr.	Dist. (Km)	Maior Pot.	Menor Pot.
Centro	1° a 4°	0,5 a 1,0	135°/-75 dBm	315°/-103 dBm
Sebastião Maltês	1°	1,5 a 2,5	45°/-95 dBm	90°/-105 dBm
Leandro Bezerra	1° e 4°	1,5 a 3,0	0°/-77 dBm	90°/-105 dBm
Conj. M. Bandeira	1°	3,0 a 4,0	45°/-87 dBm	0°/-93 dBm
Antônio Linhares	2°	1,5 a 2,5	135°/-85 dBm	90°/-95 dBm
UFERSA	2°	3,0 a 4,0	135°/-87 dBm	135°/-89 dbm
Nestor Fernandes	2° e 3°	1,5 a 2,5	180°/-84 dBm	180°/-86 dBm
Santa Agostinha	3°	1,5 a 2,5	0°/-77 dBm	90°/-105 dBm
Alto da Liberdade	3° e 4°	2,5 a 4,0	45°/-92 dBm	0°/-115 dBm
Alto São Severino	3°	2,5 a 4,0	135°/-93 dBm	90°/-110 dBm

V. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados da pesquisa foram significativos dentre os limites possíveis. Alguns erros e divergências podem se dar a fatores como o ambiente aberto, pequenas interferências de sinal por outras ERBs, sobreposição de sinal e perdas de transmissão. Se destaca ainda os turnos de coleta, a quantidade de usuários utilizando os serviços da operadora e os horários de maior pico e demanda. Para trabalhos futuros, é possível comparar os valores entre aplicativos diferentes; Aumentar o raio de sensoriamento; Mapeamento por bairro; comparar mais ERBs; Comparar o sinal móvel e o sinal cabeado; Utilizar modelos de RNA com aprendizado diferentes.

BIBLIOGRAFIA

- [1] A. A. Loureiro, D. F. H. Sadok, G. R. Mateus, J. M. S. Nogueira e J. Kelner, "Comunicação sem fio e computação móvel: tecnologias, desafios e oportunidades", em Minicurso apresentado no Congresso da Sociedade Brasileira de Computação, Campinas, SP, vol. 78, 2003.
- [2] Z. L. Kovács, "Redes neurais artificiais", Editora Livraria da Física, São Paulo, 2002.
- [3] L. Fleck, M. H. F. Tavares, E. Eyng, A. C. Helmann e M. A. de Moares Andrade, "Redes neurais artificiais: Princípios básicos", Revista Eletrônica Científica Inovação e Tecnologia, vol. 1, no. 13, pp. 47-57, 2016.
- [4] G. C. Menezes, "Modelo e Algoritmos para a Definição da Densidade, Cobertura e Conectividade em uma Rede de Sensores sem Fio", Universidade Federal de Minas Gerais, 2004.
- [5] E. M. Júnior, A. C. Paschoarelli Veiga e T. Nunes Santos, "Predição de perda de percurso utilizando redes neurais artificiais em um canal de TV UHF em Uberlândia/Brasil", Conjecturas, vol. 22, no. 18, pp. 931-954, 2022.
- [6] M. S. Las-casas, "Modelagem utilizando redes neurais artificiais para predição da percentagem de ferrita e parâmetros geométricos de cordões de solda de aços inoxidáveis austeníticos", Universidade Federal de Minas Gerais, 2013.
- [7] N. Portugal de Carvalho, "Rede Neural Artificial Aplicada à Predição de Cobertura de Sinal de Rádio Móvel em Vegetação", 2020.
- [8] V. Y. Matsunaga, "Curso de Redes Neurais utilizando o MATLAB", Belém do Pará, 2012.
- [9] A. M. Ramos, "Planeamento móvel em redes 3G: o caso de Cabo Verde-Ilha de Santiago-Cidade da Praia," Tese de Doutorado, ISCTE, 2017.
- [10] TELECO, "Teleco - Informação para o Setor de Telecomunicações", Disponível em: <https://www.teleco.com.br/>. Acessado em: 01 maio 2023, 2023.
- [11] Igor Moisés Costa Barros, "Análise e avaliação de desempenho dos sistemas móveis celulares em Pau dos Ferros-RN," UFERSA, 2018.