

SITE SURVEY PARA POTÊNCIA DE REDES WI-FI COM MAPEAMENTO 3D

Caio Santiago – caio.santiago35@gmail.com

Vinicius de Almeida Silva – vileno369@gmail.com

Bruno Luís Soares de Lima (Orientador) – bruno.lima@mackenzie.br

RESUMO

As redes Wireless Fidelity (Wi-Fi) têm sido muito utilizadas e manter uma boa conectividade é fundamental, já que essas redes estão presentes em grande parte da sociedade. Por se tratar de ondas eletromagnéticas, as redes wifi estão sujeitas a atenuação e outros fenômenos que podem comprometer a qualidade do sinal. Assim, o processo de site survey é importante para garantir a boa qualidade do sinal. Desse modo, buscou-se desenvolver um mapa de calor da potência do sinal Wi-Fi em três dimensões (3-D) para uma rede local com o intuito de observar pontos em que a conexão não é eficiente e o comportamento da potência do sinal no ambiente, estabelecendo os melhores locais para uso da rede. Através de um módulo de coleta programado em Arduino foi possível coletar os dados necessários por meio da plataforma do Thingspeak e utilizá-los em um software de supervisão em Python para produzir o mapa de calor da rede, que teve seus resultados comparados com os valores teóricos esperados.

Palavras-chave: Redes Wi-Fi. Site survey. Mapa de calor. Três dimensões. Thingspeak. Python.

3D HEATMAPPING SITE SURVEY FOR WIRELESS NETWORKS

ABSTRACT

Wi-Fi networks have been widely used and maintaining good connectivity is fundamental, since these networks are in a large part of society. As electromagnetic waves, wifi networks are subject to path loss and other problems that can compromise the signal quality. Thus, developing a heat map of Wi-Fi signal strength in three dimensions for a local network to observe points where the connection is inefficient and observe the behavior of the signal strength in this local, establishing the best places to use this network. Using a collection module programmed in Arduino, was possible to collect data through Thingspeak platform and use them in a Python software to produce de network heat map, which had its results compared with the theoretical expected values.

Key-words: Wi-Fi. Heat map. Signal strength. Three dimensions. Thingspeak. Python.

1 INTRODUÇÃO

Conectividade é fundamental pois diversas atividades econômicas dependem de redes de comunicação de dados. Atualmente, a conexão com a internet é essencial e praticamente todas as pessoas dependem do acesso a internet para diversas atividades. O uso da internet é importante em diversos contextos como trabalho, estudos e lazer (TUMELEIRO *et al*, 2018). O crescimento e a aplicação dos conceitos de *Internet Of Things* (IOT), *Smart Cities*, Indústria 4.0 e *Smart Grid* (SURESH, 2014), por exemplo, ratificam a necessidade de uma conexão de internet estável e com alta disponibilidade. Assim, as redes Wi-Fi são de grande importância atualmente, afinal são a maneira mais comum e de menor custo para adquirir conectividade e estão presentes em residências, comércios e indústrias.

Porém, não basta somente ter acesso a internet, também é necessário ter qualidade de sinal ao acessá-la. O *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), através de um comitê organizador, definiu a família de padrões 802.11 para redes de comunicação sem fio, sendo os padrões 802.11a, 802.11b e 802.11g os mais comuns. Essa padronização ajuda no acesso com qualidade à internet, pois delimita frequências específicas para as redes *wireless*, mas, segundo Rodrigues e Santos (2007), a maioria das organizações que possuem ou pretendem implantar redes sem fio enfrentam muitos problemas relacionados a conectividade, a baixa qualidade e disponibilidade de sinais de transmissão e as invasões de *hackers*. Assim, o processo de *site survey* é muito útil nesse aspecto, podendo garantir um bom funcionamento das redes Wi-Fi.

As redes Wi-Fi fornecem dados a partir de ondas eletromagnéticas que estão sujeitos a fenômenos como atenuação e ruído, que podem comprometer a qualidade do sinal e sua potência, tornando o acesso à internet lento, ou até mesmo inexistente em alguns pontos. Para minimizar tais efeitos e evitar prejuízos, um processo de *site survey* pode ser muito útil e ainda mais se feito em 3D, pois assim evidenciará melhor as causas de um sinal de má qualidade.

Site survey trata-se de uma técnica capaz de medir a qualidade do sinal e os ruídos de uma rede de comunicação sem fio, permitindo assim, após análise, melhor disponibilidade e qualidade de sinais de rede sem fio. Segundo Batista (2017), com o *site survey* pode-se determinar e antecipar pontos de falha, áreas de sombra, interferências de sinal e determinar a melhor localização dos pontos de acesso.

Essa técnica também permite o mapeamento do sinal e a identificação dos locais nos quais o sinal está mais comprometido por obstrução ou ruídos. Existem várias ferramentas de *site survey* no mercado, como o Ekahau, Insider, entre outras (ZANONA; BRANDÃO, 2010). A maioria dessas ferramentas executam as medições do sinal Wi-Fi e geram mapas de calor em 2D, mostrando os locais com melhor acesso.

Tomando como referência essas ferramentas, este trabalho busca desenvolver um sistema de auxílio na instalação de redes Wi-Fi, executando o processo de *site survey* e com mapeamento de sinal de potência em 3D. O sistema desenvolvido foi composto por dois módulos de software distintos. O primeiro módulo de

coleta de dados, responsável pela leitura de sensores de posição e potência e o segundo, o módulo supervisão, é responsável pela geração dos mapas de calor em 3D para que a análise de qualidade do sinal seja realizada.

2 REVISÃO DA LITERATURA

2.1 POTÊNCIA DE SINAL E ATENUAÇÃO

Os parâmetros mais importantes em uma rede para transmissão efetiva de dados são o atraso, taxa de transferência, oscilação, largura de banda, eco e perda de pacotes. A maioria desses fatores depende da potência do sinal e do alcance (ZVANIVEC; PECHAC; KLEPAL, 2003). Assim, a potência de sinal tem grande importância na propagação das ondas eletromagnéticas.

A potência de uma onda eletromagnética é dada pelo Teorema de *Poynting* representado na Equação 1.

$$\oint_s (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \cdot d\mathbf{S} = -\frac{\partial}{\partial t} \int_v \left[\frac{1}{2} \epsilon E^2 + \frac{1}{2} \mu H^2 \right] dv - \int_v \sigma E^2 dv \quad (1)$$

Onde E representa o campo elétrico, H o campo magnético, $d\mathbf{S}$ a superfície de área, t o tempo, ϵ a permissividade elétrica no meio, μ a permeabilidade magnética no meio e σ a condutividade elétrica no meio.

Segundo o teorema, a potência total que deixa o volume é dada pela taxa de decréscimo no tempo de energia armazenada nos campos elétricos e magnéticos menos as perdas por condução no meio de propagação.

O vetor de *Poynting*, expresso na Equação 2, é dado em Watts por metro quadrado (W/m^2) representa a potência instantânea associada com o campo eletromagnético em um dado ponto.

$$\mathbf{P} = (\mathbf{E} \times \mathbf{H}) \quad (2)$$

Onde E é campo elétrico e H o campo magnético.

Por ser o produto vetorial dos campos elétricos e magnéticos, o vetor de *Poynting* é perpendicular aos campos elétrico e magnético. Como o vetor de *Poynting* é responsável por carregar a potência de uma onda eletromagnética, é de fundamental importância para compreender uma transmissão sem fio.

Como as ondas eletromagnéticas irradiam a partir de uma fonte que é uma antena transmissora. Essa onda tem sua potência transmitida para outra antena, chamada de antena receptora, através do vetor de *Poynting* e desse modo a informação é passada de um ponto a outro.

Os sistemas de comunicação por satélite e rádio de micro-ondas, normalmente experimentam propagação por espaço livre (RAPPAPORT,2011). Nesses casos, o modelo mais simples para cálculo da perda de propagação é o da Equação de Friss, presente na Equação 3.

$$L = 92,44 + 20 \log d_{(km)} + 20 \log f_{(MHz)} - G_t(dbi) - G_r(dbi) \quad (3)$$

Onde L representa a atenuação do sinal, d a distância entre as antenas transmissora e receptora em quilômetros, f a frequência de operação da antena em Mega-hertz, G_t o ganho da antena transmissora e G_r o ganho da antena receptora.

Existem três mecanismos básicos que influenciam na propagação de um sistema de comunicação móvel: a reflexão, a difração e a dispersão. Os modelos de propagação se baseiam nesses fatores e tem como principal parâmetro a potência recebida ou a perda do caminho (RAPPAPORT,2011). Esses mecanismos podem influenciar diretamente na atenuação do sinal podendo gerar variações na potência.

Portanto, a potência do sinal é de grande importância para o bom funcionamento de redes sem fio, sendo muito importante a localização dos dispositivos receptores e transmissores e o processo de *site survey* auxilia muito neste aspecto, principalmente nas redes Wi-Fi que são as mais utilizadas atualmente.

2.2 RELAÇÃO SINAL RUIDO

Além de estar sujeito a atenuação, um sinal transmitido por ondas está sujeito a alterações causadas por outras ondas de outros dispositivos, essas alterações são conhecidas como ruído.

O ruído gera deterioração da qualidade do sinal transmitido nos sistemas de transmissão analógicos e introduz erros nos sistemas de transmissão digital (MOREIRA,1999). Neste, o ruído é medido pelo cálculo de *Bit Error rate* (BER), enquanto naquele é medido pela *Signal Noise Rate* (SNR) (NETSPOT,2020).

A SNR é calculada como a razão entre a potência do sinal e a potência do ruído, em decibéis essa relação é calculada pela Equação 4.

$$SNR_{db} = 10 \log_{10} SNR_W \quad (4)$$

Onde SNR_{dB} é a Relação sinal ruído em decibéis e SNR_W a relação sinal ruído em Watts.

Segundo a Netspot (2020), a maioria dos especialistas recomenda 20 dB como a relação sinal ruído para o tipo de modulação utilizada, na maioria dos roteadores de transmissão de dados. Para informações mais detalhadas sobre relação sinal ruído, consultar (RAPPAPORT, 2009).

2.3 IEEE 802.11

O IEEE 802.11, popularmente conhecido como Wi-Fi é um meio de comunicação sem fio aceito mundialmente e utilizado para enviar e receber dados, sinais, comandos e muito mais (SURESH et. al, 2014). Seu surgimento ocorreu a partir de 1990 quando foi criado um grupo de trabalho pelo IEEE com a responsabilidade de discutir ideias e formular uma proposta para implementar e padronizar um meio de comunicação sem fio, baseado na propagação de ondas eletromagnéticas para transmitir informações. Em 1997, após sete anos de estudo e discussão, surgiu o padrão IEEE 802.11 como a primeira geração da

tecnologia Wi-Fi. Após seu surgimento em 1997, o IEEE 802.11 foi cada vez mais estudado e desenvolvido, permitindo o surgimento de novos padrões e famílias para redes sem fio.

De modo geral, o IEEE 802.11 é uma WLAN (*Wireless Local Area Network*) capaz de transmitir informações sem a necessidade de fios, através de ondas de radiofrequência podendo operar na frequência de 2,4 GHz ou 5 GHz. Segundo Urvyovsky, Osypchuck e Shmigel (2016), os padrões mais utilizados atualmente são os IEEE 802.11 a/b/g/n/ac. Cada padrão possui características próprias de frequência de operação, largura de banda, taxa de bits e alcance como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Protocolos IEEE mais utilizados e suas características

Protocolo	Frequência (GHz)	Largura de Banda (MHz)	Taxa de Bits (Mbps)	Alcance(m) (indoor/outdoor)
802.11	2,4	22	2	20/100
802.11a	5	20	54	35/120
802.11b	2,4	22	11	35/140
802.11g	2,4	20	54	38/140
802.11n	2,4/5	20/40	600	70/250
802.11ac	5	20/40/80/160	6936	35/150

Fonte: Adaptado a partir de Kar; Dappuri (2018)

Os padrões mais avançados hoje em dia são o IEEE 802.11n e o IEEE 802.11ac (URVYVSKY; OSYPCHUCK; SHMIGEL, 2016). Esses padrões se diferenciam nas frequências de banda, modulação e velocidade de transmissão.

Por utilizarem de ondas eletromagnéticas, as redes Wi-Fi estão sujeitas aos fenômenos refração, reflexão e difração e, portanto, podem sofrer atenuação. Segundo Oliveira (2014), qualquer sinal tem seu nível de potência atenuado à medida que se propaga no canal, devido ao espalhamento do sinal no espaço o que evidencia a diferença de alcance dos padrões de redes sem fio.

No caso do padrão 802.11, percebe-se que os padrões que operam em 5 GHz possuem menor alcance. Isso ocorre devido ao fato da atenuação do sinal no espaço livre ser diretamente proporcional ao aumento da frequência. Além disso, as frequências maiores dos padrões 802.11 em relação aos outros implica em comprimentos de onda menores, e, segundo Batista (2017), obstáculos como paredes, móveis e outros obstruem o sinal com mais facilidade.

Com manutenção e instalação simples e de baixo custo, as redes Wi-Fi aumentaram significativamente seu uso ao passar dos anos (SURESH et al., 2014). O crescente uso e a presença de redes Wi-Fi nos mais diferentes ambientes como escolas, locais públicos e residências juntamente com a dificuldade imposta por obstáculos e a atenuação da potência de sinal, tornam essa rede a escolha mais lógica para desenvolvimento

deste trabalho, pois existe uma facilidade maior em executar testes e o impacto do resultado final será maior devido à grande utilização.

2.4 SITE SURVEY

De acordo com Poltronieri (2011) o *site survey* é uma inspeção de intensidade de sinal de potência radiofrequência detalhada em uma determinada área, com o intuito de buscar melhorias a serem feitas em um ambiente *indoor* ou *outdoor*, ou para verificar a melhor metodologia, assim como dispositivos e equipamentos que podem ser instaladas em uma nova rede, maximizando assim a eficiência de uma rede.

No *site survey* é analisado todo o ambiente, a fim de identificar os mais variados obstáculos, como paredes, mesas e portas em ambientes interno, ou plantas e edificações, em áreas abertas podendo ser executados de duas formas. De acordo com Kar e Dappuri (2018). pode ser realizado de forma manual, onde basicamente é feita uma análise após a instalação da rede e dos dispositivos, ou de forma preditiva, na análise preditiva serão feitas simulações antes da instalação de uma rede.

Mesmo tomando todos os cuidados para a instalação de uma nova rede deve-se ter em mente que, de um dia para o outro, um novo dispositivo pode entrar em operação alterando toda a análise realizada (ZANONA; BRANDÃO,2010). Sendo assim é necessário executar um monitoramento periódico, para manter a qualidade na rede.

No *site survey* que executado por este trabalho, tem-se como foco captar a potência de uma rede de sinal Wi-Fi, gerando um mapa de calor tridimensional, indicando o valor de potência de sinal no mapa. Essa análise poderá ser usada para medições de *site survey* do tipo manual em que a captação do sinal é feita de forma física, com auxílio de um instrumento servindo tanto para captação de sinal como posicionamento, para redes Wi-Fi e outros tipos de redes como por exemplo 4G e 5G.

2.4.1 Site Survey Manual

No *site survey* manual, é feita um passeio sobre o local com um equipamento capaz de realizar medições de algumas matrizes importante da rede. Essas medições são essenciais para o reposicionamento dos pontos de acesso da rede (KAR; DAPPURI,2018).

2.4.2 Site Survey Preditivo

O *site survey* preditivo promete entregar resultados precisos e geralmente é executado apenas em ambientes *indoor*, porém precisa da supervisão de especialistas e dependendo do software utilizado necessita de muitas informações específicas. Essas informações podem ser tais como: largura de paredes, materiais da construção, espessura de vidro, tipos de portas e janelas e a existência de outros pontos de acesso *Wi-Fi*. (KAR; DAPPURI,2018).

Inicialmente é feito um modelamento virtual da construção com todos os pontos de acesso instalados, o planejamento é feito de forma a atingir um cenário de cobertura perfeito para a rede instalada.

2.5 SOFTWARES PARA SITE SURVEY

Existem alguns softwares existentes para o processo de *site survey* dos quais destacam-se o Ekahau Heatmapper (EKAHAU, 2020), Inssider (ZANONA E BRANDÃO), Acrylic Wi-Fi heatmaps (ACRYLIC, 2020) dentre outros.

Analisando os softwares comerciais para *site survey* observa-se que em sua maioria utilizam dos resultados das análises de sinal para fornecer um mapa de calor com as potências de sinal em relação a posição, desta forma, o presente trabalho consitiu no desenvolvimento de um software com apresentação de um mapa de calor do sinal, que poderá ser visualizado de forma 3D diferentemente das ferramentas comerciais.

3 METODOLOGIA

3.1 ARQUITETURA DO SISTEMA

A Arquitetura do projeto pode ser dividida em dois módulos que se comunicam entre si, o primeiro módulo, módulo de coleta, corresponde a um microcontrolador conectado a dois sensores para captura de altura e potência de sinal. Este módulo pode ser acoplado a drones ou a outros robôs para que facilite a captação dos dados tanto das diferentes posições quanto da potência de Wi-Fi. A outra parte do sistema é chamada de módulo de supervisão, que corresponde a um software, que é executado em um computador ou laptop, para receber as informações captadas pelo módulo de coleta e processá-las e apresentá-las numa interface gráfica que exibe um mapa de calor 3D. A Figura 1 exibe um exemplo da arquitetura do sistema.

Figura 1 - Arquitetura de sistema



Fonte: Autoria Própria

A expectativa inicial envolvia um dispositivo GPS para obter a localização da medida de potência, porém não houve recursos disponíveis para aquisição do módulo GPS.

3.2 ESPECIFICAÇÃO DO SISTEMA

3.2.1 Hardware

O hardware para este projeto é composto pelo microcontrolador Esp8266 (ESPRESSIF SYSTEMS, 2015), o qual foi sucedido pelo ESP 32, um sensor de ultrassom HC-SR04 (MARIAN, 2020), um conversor de nível lógico RC (ROBOCORE, 2020) e um *power bank* (SAMSUNG, 2020) para alimentação.

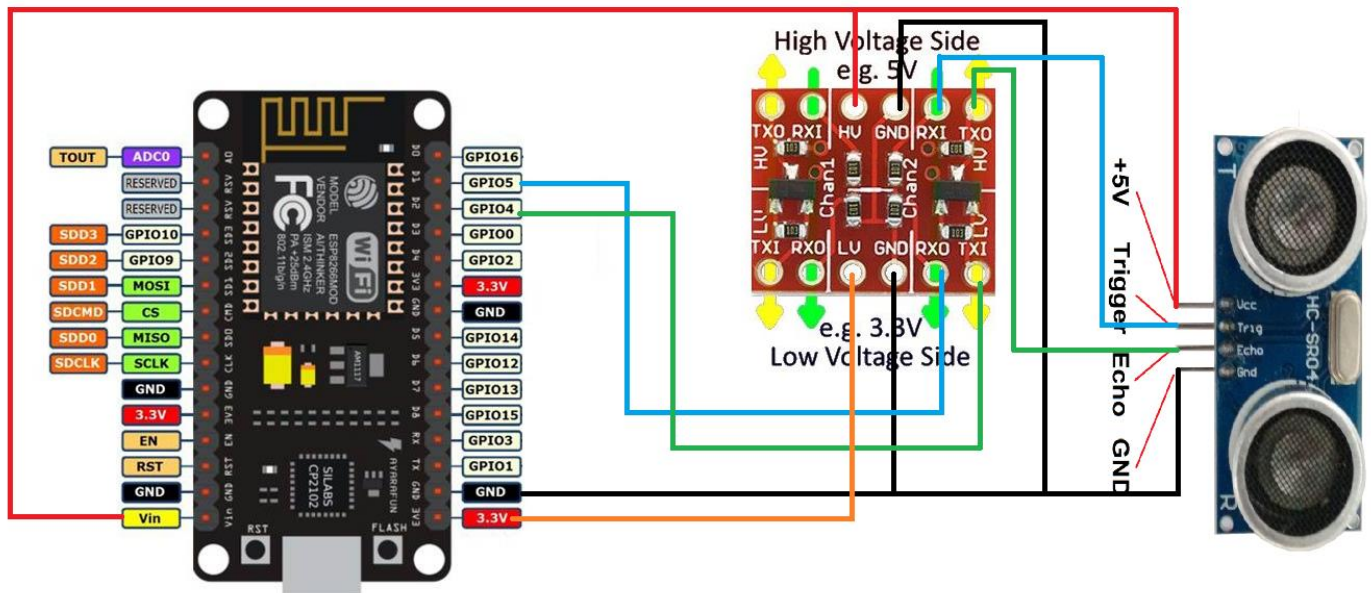
O Esp8266 é um dos microcontroladores mais versáteis do mercado, com grande disponibilidade e suporte de uso. Esses fatores somados com a familiaridade com o manuseio e linguagem de programação tornam o Arduino a opção mais lógica para este projeto. Este dispositivo possui tensão de operação de 3.3 Volts, 16 pinos de entrada ou saída, 1 pino analógico, memória SRAM de 64 kB, memória flash de 4MB, *clock* de 80 MHz e se conecta a redes dos padrões 802.11 b/g/n com antena de frequência de 2400 MHz.

O sensor ultrassônico HC-SR04 possui tensão de funcionamento de 5 Volts e frequência de funcionamento de 40 Hz. Se trata de um sensor muito utilizado com arduino e com boa precisão para distâncias de 2 centímetros até 4 metros.

Para o desenvolvimento do hardware foi necessário utilizar um conversor de nível lógico RC, dado que o sensor e o microcontrolador possuem tensões de funcionamento diferentes. Assim, o conversor permite que a tensão dos dispositivos seja compatível e possibilita o funcionamento em conjunto dos dois dispositivos.

O *power bank* foi utilizado para alimentar o sistema. O modelo utilizado foi um EB- P1100CSPGGBR, com 10.000 mAh. Este aparelho permitiu a alimentação do microcontrolador com facilidade, já que o ESP8266 não possui alto consumo. O sistema final encontra-se na figura 2, mostrando o hardware e suas conexões.

Figura 2 - Hardware e conexões.



Fonte: Autoria Própria

Para execução de trabalhos futuros, a adição de um drone no projeto pode ajudar a realizar as medições, para esse drone é necessário que ele possua estabilidade durante o voo para as medições de potência serem

feitas da forma correta. Sendo assim o drone utilizado deverá ser um modelo quadricóptero, o qual possui grande estabilidade tanto nos eixos do plano, X e Y, quanto à altura, eixo Z, além de possuir facilidade para se movimentar em todas as direções.

3.2.2 Sensores

Os dispositivos utilizados correspondem a dois sensores, um sensor de ultrassom e a própria antena para conexão wireless do microcontrolador Esp32. O sensor de ultrassom utilizado, é o HC-SR04 um sensor ultrassônico capaz de medir distâncias de até 4 metros, está aplicado ao projeto para coletar as medidas de altura, do ambiente. Posicionado no módulo de coleta com mira para o solo, ele envia uma onda ultra sônico que é refletida pelo solo, e calcula o tempo que esta onda leva para voltar ao sensor, assim o dispositivo consegue calcular o valor da distância.

Para as medidas realizadas no projeto a distância do sensor até o solo ou objeto foi de no máximo 3 m, que seria a altura padrão para ambientes internos.

O seguinte sensor corresponde ao próprio ESP 32, este módulo realiza a conexão com a internet via Wi-Fi, e ao mesmo tempo verifica a intensidade de sinal recebido, captando potência de sinal em valores de até -109 dBm nos padrões 802.11b/g/n.

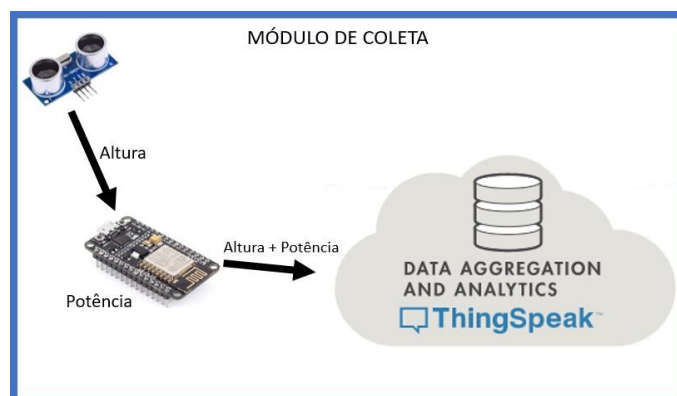
3.3 DESENVOLVIMENTO DE SOFTWARE

Os softwares desenvolvidos no projeto estão separados em dois, o software que realiza o processamento dos dados coletados pelos sensores de altura e potência, o software embarcado, e o software de supervisão que apresenta os dados ao usuário de uma forma limpa, e fácil de analisar, também é nesse software que foi gerado o mapa de calor 3D.

3.3.1 Software embarcado

Trata do software que executa a medição da potência do sinal da rede Wi-Fi, desenvolvido na plataforma arduino, utilizando linguagem C. É responsável por coletar as leituras dos sensores de potência e ultrassom e enviá-las via *Wi-Fi* para a plataforma Thingspeak. Nesta plataforma são gerados arquivos em excel (.csv) que permitem a criação do arquivo de texto (.txt) com os dados obtidos pelos sensores e as posições pré-estabelecidas, deixando-o pronto para uso do software de supervisão. A arquitetura do sistema de coleta de dados dos sensores é apresentada na figura 3.

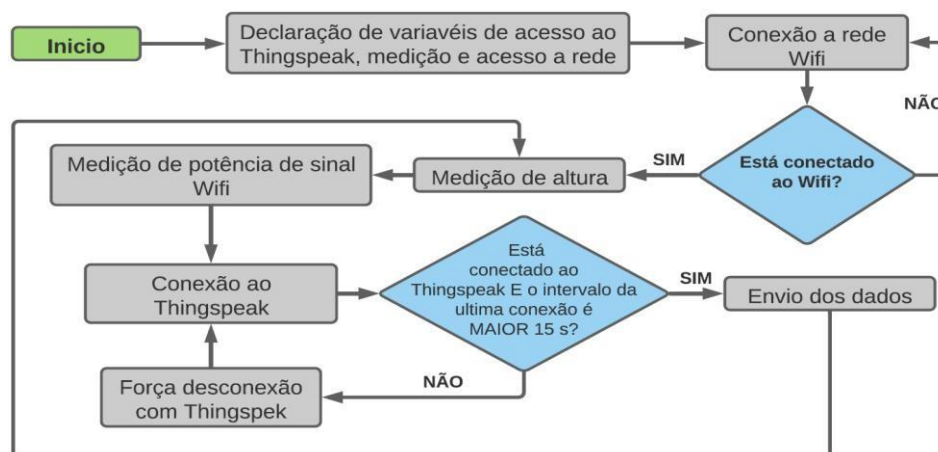
Figura 3 - Arquitetura do módulo de coleta.



Fonte: Autoria Própria

O funcionamento do software embarcado é descrito conforme o fluxograma presente na figura 4.

Figura 4 - Fluxograma do software embarcado.



Fonte: Autoria Própria

Ao iniciar, o software cria todas as variáveis que serão utilizadas no processo. As variáveis de acesso ao Thingspeak, que incluem a chave do canal e endereço da plataforma; as variáveis de medição de potência e altura, que serão enviadas à plataforma; e as variáveis de conexão à rede doméstica utilizada, que incluem o nome da rede e a senha.

Após a declaração de variáveis, ocorre a conexão de rede. Neste processo, as variáveis de nome da rede e senha são utilizadas para realizar a conexão Wi-Fi. Caso este processo não seja bem sucedido, o programa entra em *loop* até conseguir conexão.

Ao se conectar a rede, o módulo inicia as medições dos valores potência e altura e armazena os valores temporariamente nas variáveis de medição já criadas. Com isso, o módulo está pronto para se conectar ao Thingspeak com as variáveis de chave e endereço criadas inicialmente. Como a plataforma possui uma limitação de conexão, a qual só permite que as conexões para envio de dados sejam feitas com intervalo mínimo de 15 segundos, o programa faz a verificação desse intervalo e da conexão com a plataforma. Caso não exista conexão com a plataforma ou o intervalo de envio de dados seja inferior a 15 segundos, é forçada

uma desconexão entre o Thingspeak e o microcontrolador e este tenta conectar-se novamente. Caso contrário o programa segue para o envio dos dados e retorna para fazer a próxima medição.

3.3.2 Software de supervisão

Este software recebe os dados de localização e as medições de potência a partir do arquivo .csv gerado pelo Thingspeak e apresenta o mapa de calor da potência do sinal em função da posição. O gráfico gerado pelo programa exibe os valores das potências nas devidas posições medidas, variando a coloração do azul, potências menores, para o vermelho, potências maiores.

Para desenvolver o software supervisão foi utilizado a linguagem Python, uma linguagem que possui muitas aplicações em diversas áreas e muitas bibliotecas colaborativas, além de uma comunidade bem ativa, o que a fez ideal para o projeto desenvolvido neste trabalho. O fluxograma da Figura 5 ilustra a lógica desse software.

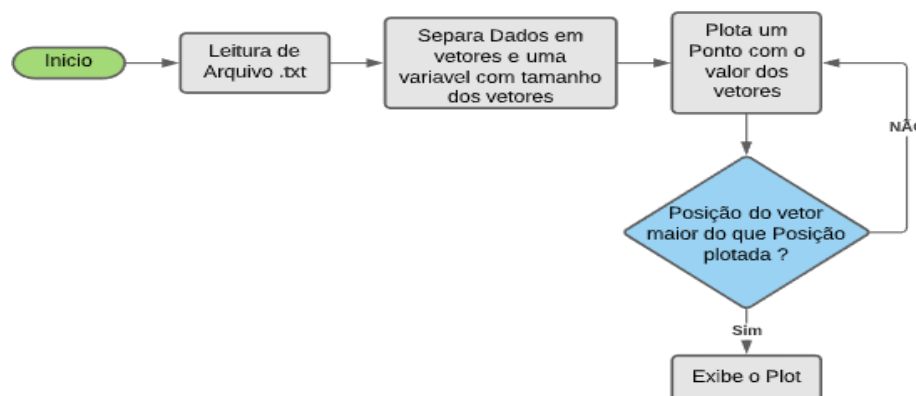
Entre as bibliotecas utilizadas no programa estão: o NumPy e o Matplotlib.

A biblioteca Numpy constitui um pacote de funções fundamental para a computação científica em Python. Neste pacote é encontrado um poderoso conjunto de objetos N dimensionais, funções sofisticadas, ferramentas para a integração de código de outras linguagens computacionais, como o C/C++ e Fortran, uso de álgebra linear, transformada de Fourier e capacidade de gerar números randômicos (HARRIS et. al, 2020).

A biblioteca Matplotlib é uma biblioteca para fazer gráficos de *arrays* em Python, segundo Hunter (2007) tem suas origens na emulação dos comandos gráficos do MATLAB e pode ser usado de forma orientada a objetos. Embora o Matplotlib seja escrito principalmente em Python puro, ele faz uso intenso de NumPy e de outros códigos de extensão para fornecer um bom desempenho, mesmo para matrizes grandes.

Com as ferramentas da Biblioteca Numpy, o programa em Python lê as informações do arquivo .txt ou .csv, e separa essas informações em 4 vetores, onde cada vetor representa um tipo de informação como potência, altura, latitude e longitude.

Figura 5 - Fluxograma do software de supervisão

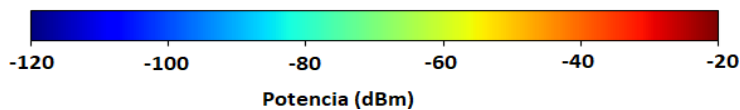


Fonte: Autoria Própria

Esses vetores, são posteriormente plotados pelas ferramentas da biblioteca matplotlib, em pontos do espaço tridimensional criado pelo programa, cada ponto possui um valor potência, que caracteriza a sua cor,

cores mais próximas ao vermelho e laranja (cores quentes) indicam sinal de potência maiores, já cores próximas do azul e ciano (cores frias), indicam um sinal mais fraco, como pode ser visto pela Figura 6.

Figura 6 - Escala para potência de sinal



Fonte: Autoria Própria

Mais informações sobre Python e a linguagem podem ser obtidos em Wichmann (2019) que lista alguns livros explicando desde os comandos básicos até aplicações complexas que podem ser projetadas com Python.

3.4 TESTES E VALIDAÇÃO

Para testar e validar o sistema desenvolvido, foram feitos alguns modelos distintos de testes. Um dos testes consistiu em verificar se as medidas obtidas na prática estavam coerentes com a teórica, com base no cálculo de atenuação do sinal. Para isso, foi feita a verificação do desvio padrão presente na obtenção dos valores de potência de sinal. Para este teste, o roteador foi mantido em um local fixo, enquanto o módulo de coleta foi posicionado em dois locais distintos, um muito próximo a alguns centímetros do roteador e outro mais distante, a mais de 3 metros e com a presença de obstáculos, como paredes, entre o módulo e o roteador. Durante esse teste, o módulo de coleta ficou ligado por cerca de 20 horas, medindo a potência de sinal nos locais escolhidos, com intervalos de 15 segundos.

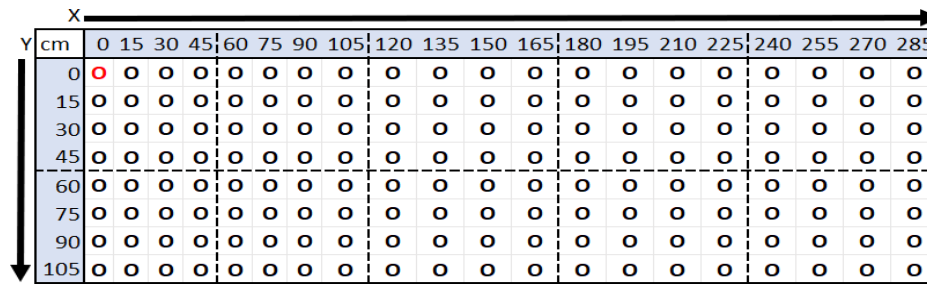
Esse teste foi feito com o intuito de verificar a precisão das medidas com a variação do tempo e da distância e se algum desses fatores causaria um impacto considerável através do cálculo do desvio padrão.

Para o segundo teste, foram coletadas medidas em linha reta do roteador, o qual, novamente ficou em um ponto fixo e com distâncias pré-determinadas. Com os dados obtidos de potência e distância pôde-se calcular a atenuação através de Friss e verificar se o valor de potência de sinal obtido na prática era coerente com o teórico.

Para o teste seguinte, foi escolhido um ponto fixo, nas coordenadas X e Y, para o módulo de coleta e este variou somente sua coordenada Z, referente à altura em relação ao solo. Ao realizar este teste, teoricamente, quando o módulo de coleta estivesse em alturas próximas da antena do roteador, o valor de potência medido seria o máximo, já que a atenuação do sinal, a qual, como visto anteriormente, é diretamente proporcional à distância. Neste teste o roteador se manteve em coordenadas fixas, do mesmo modo que os anteriores.

Por fim, o último teste e o objetivo deste trabalho consistiu na construção do mapa de calor da potência do sinal *Wi-Fi* em três dimensões. Para isso, foram pré estabelecidos coordenadas em X e Y para medição dos valores de potência conforme a Figura 7.

Figura 7 - Pontos de medição - Coordenadas (X,Y).



Fonte: Autoria Própria

Cada “O” na figura representa um ponto com coordenadas X e Y, sendo que o “O” vermelho representa o local do roteador. Essa foi uma solução encontrada devido a ausência do sensor de posição (GPS). Em cada ponto, houve variação na posição do módulo de coleta na direção da coordenada Z, correspondente a altura, pois esta é obtida a partir da medição do sensor ultrassônico e é enviada diretamente à plataforma do *Thingspeak*, assim como a potência de sinal da rede. Após a coleta de dados em todos os pontos em várias alturas diferentes, houve o envio dos valores medidos a plataforma do *Thingspeak*. A partir dos dados obtidos no *Thingspeak* foi possível gerar um arquivo de excel (.csv) ou de texto (.txt) com os dados de medições obtidas pelo módulo de coleta e com as coordenadas X e Y. Com esses arquivos foi possível plotar o mapa de calor em três dimensões da potência de sinal na área escolhida e verificar sua coerência de acordo com a teoria de atenuação das ondas eletromagnéticas e com base nos testes anteriores.

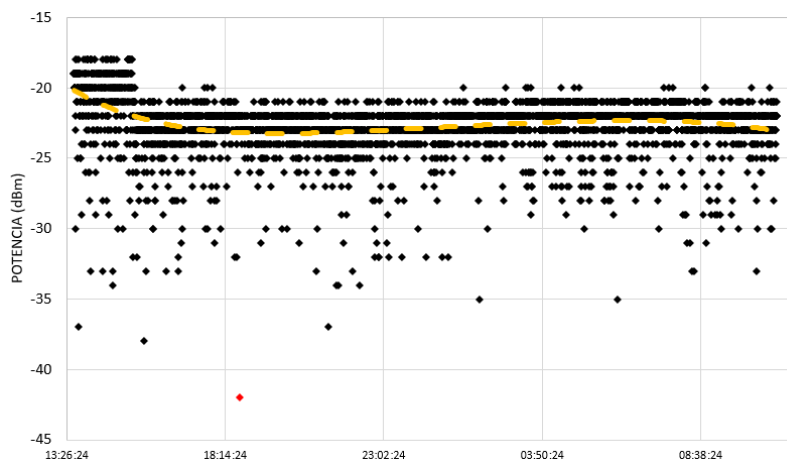
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 POTÊNCIA DO ROTEADOR E DESVIO PADRÃO

Para verificar o bom funcionamento do projeto, testes práticos são necessários para checar a precisão quanto a localização e a coerência das medidas de potência de sinal Wi-Fi. Assim, foram elaborados alguns testes para conferir a eficiência do projeto na captação do sinal de potência Wi-Fi, e da confirmação da posição.

Como explicado na metodologia por aproximadamente um dia o sensor de potência ficou imóvel próximo ao roteador de sinal Wi-Fi, realizando medidas a cada 15 segundos, com essas medidas coletadas foi feito um gráfico, expresso pela Figura 8, para verificar a precisão do dispositivo e a potência máxima transmitida pelo roteador.

Figura 8 - Potência próxima ao roteador.

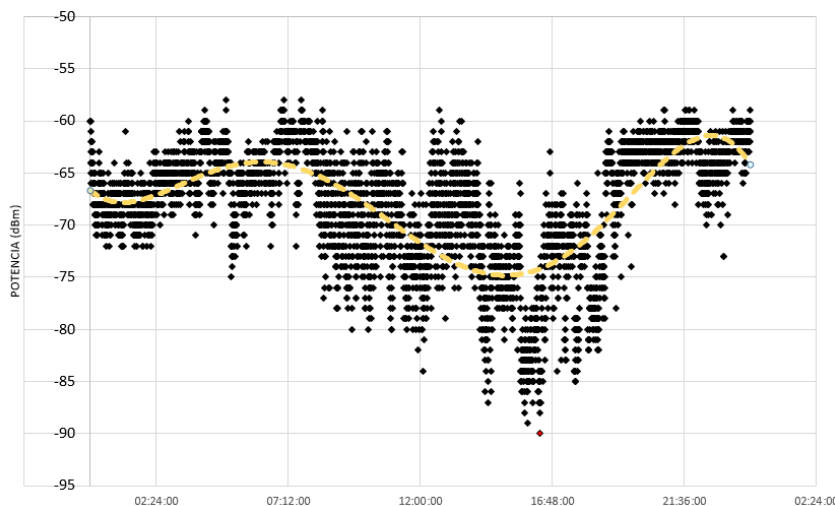


Fonte: Autoria Própria

Analisando os dados do sensor de potência observou-se que os valores apresentaram variações ao longo do dia, especialmente quando alguma pessoa se aproxima do roteador, sensor estava localizado em cima do roteador para captar a potência máxima transmitida pelo aparelho e manteve uma média de -23 dBm com máxima de -18 dBm, mínima de -42 dBm, desvio padrão de $\pm 1,2$ dBm e erro percentual equivalente a 5,2%.

Da mesma forma, foi realizado o mesmo procedimento só que agora para um local distante do roteador, o que resultou nos valores com maior variação e uma intensidade bem menor, como mostra a Figura 9.

Figura 9 - Potência para sinal longe do roteador.



Fonte: Autoria Própria

Nesta figura os valores apresentaram maior variação no horário em que havia mais pessoas utilizando a rede com média de -67 dBm, máxima de -58 dBm, mínima de -90 dBm, desvio padrão de $\pm 4,5$ dBm e erro percentual equivalente a 6,7%.

4.2 EQUAÇÃO DE FRISS E ATENUAÇÃO

Após realizarmos os testes com o módulo parado para a medição, outro teste foi efetuado para verificar como era o comportamento do módulo, frente a variação de distância horizontais, com relação ao roteador. Para aumentar a precisão dos testes foram efetuadas três medições nos mesmos pontos e calculada uma média sobre a potência medida nesses pontos.

Após feitas as medidas, foram calculados os valores teóricos para esse ponto utilizando a equação de Friis, equação (7), já que o sinal entre o módulo de coleta e a antena do roteador, possuíam visada livre, ou seja, não havia algum outro objeto, além do ar que obstruiu a visão de uma antena para outra. Verificando as configurações dos equipamentos, a potência transmitida pelo roteador equivale a 37dBm, possui uma frequência de 2.4GHz e ganho de 5dBi, enquanto que a antena de recepção no módulo de coleta tem ganho correspondente a 3dBi.

Com todos os parâmetros para cálculo da equação foi construída uma tabela com o valor da potência teórica transmitida pela antena, e comparados esses valores com um valor calculado, gerando um erro percentual para antena como exibido, na Tabela 2.

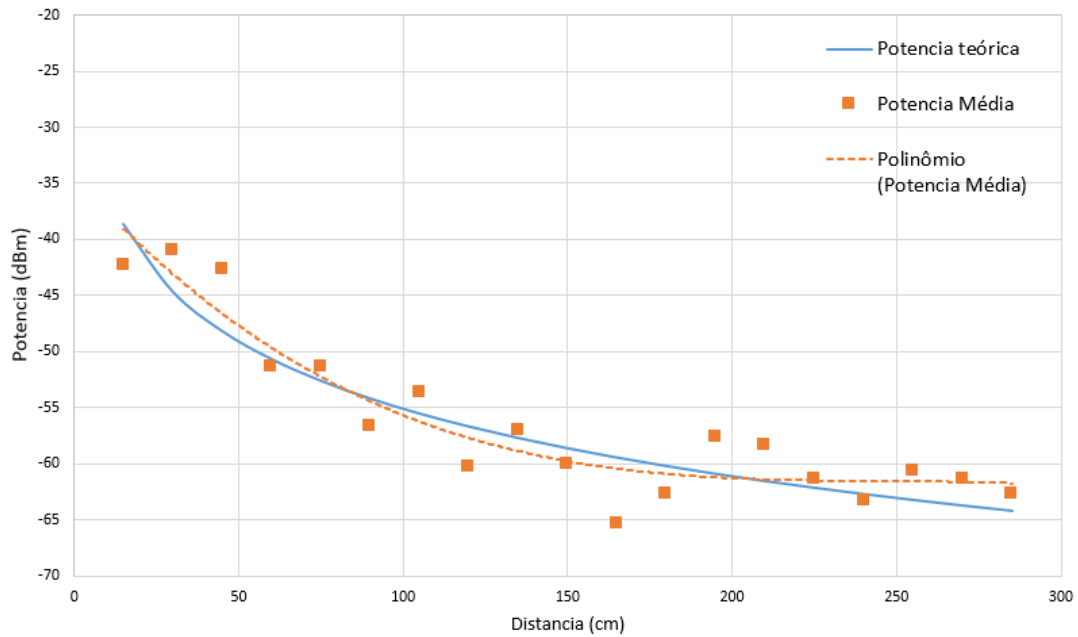
Tabela 2 - Erro percentual para potência medida.

Potência (dBm)	Potência2 (dBm)	Potência3 (dBm)	Distancia (cm)	Potência Média (dBm)	Atenuação (dBm)	Potência teórica (dBm)	Erro Percentual
-41	-41	-45	15	-42	75,57	-39	9,7%
-37	-43	-43	30	-41	81,59	-45	8,1%
-40	-43	-45	45	-43	85,11	-48	11,3%
-49	-55	-50	60	-51	87,61	-51	1,4%
-51	-52	-51	75	-51	89,55	-53	2,3%
-62	-53	-55	90	-57	91,13	-54	4,7%
-50	-53	-58	105	-54	92,47	-55	3,3%
-59	-62	-60	120	-60	93,63	-57	6,5%
-57	-56	-58	135	-57	94,65	-58	1,1%
-60	-61	-59	150	-60	95,57	-59	2,4%
-67	-64	-65	165	-65	96,39	-59	10,0%
-61	-64	-63	180	-63	97,15	-60	4,2%
-60	-56	-57	195	-58	97,84	-61	5,2%
-61	-51	-63	210	-58	98,49	-61	5,1%
-64	-55	-65	225	-61	99,09	-62	1,2%
-67	-61	-62	240	-63	99,65	-63	1,1%
-62	-59	-61	255	-61	100,18	-63	4,0%
-65	-59	-60	270	-61	100,67	-64	3,7%
-60	-65	-63	285	-63	101,14	-64	2,3%

Fonte: Autoria Própria

Com os dados da tabela foi possível obter duas curvas, Figura 10, que representassem a potência medida e a potência teórica, e pelos valores obtidos, observou-se que os valores são relativamente próximos, apresentando grandes diferenças, apenas para valores próximos do roteador com um erro máximo de 11,3%, e em um ponto localizado em uma distância média, que apresenta 10% de erro.

Figura 10 - Curvas de Potência teórica e Potência prática



Fonte: Autoria Própria

4.3 POTÊNCIA VERTICAL

Neste caso, os pontos medidos mantiveram uma posição fixa nas coordenadas X e Y, enquanto o módulo de coleta variava apenas com a altura. Desse modo, obteve-se as medidas presentes na Tabela 3.

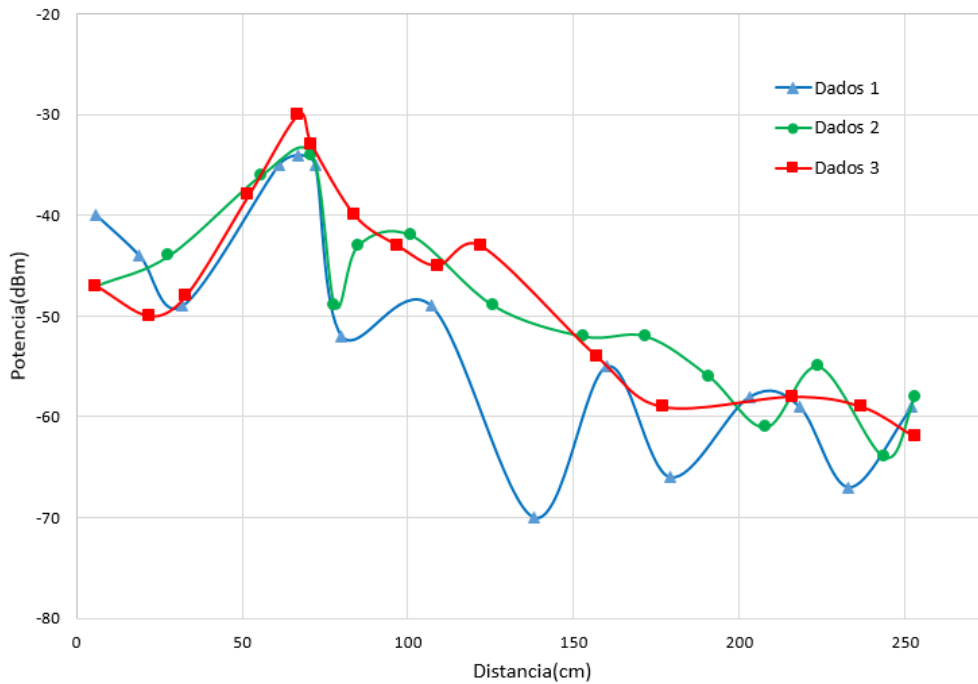
Tabela 3 - Medidas de potência vertical.

Altura	Potencia	Altura1	Potencia2	Altura3	Potencia5
6	-40	6	-47	6	-47
19	-44	28	-44	22	-50
32	-49	56	-36	33	-48
61	-35	71	-34	52	-38
67	-34	78	-49	67	-30
72	-35	85	-43	71	-33
80	-52	101	-42	84	-40
107	-49	126	-49	97	-43
138	-70	153	-52	109	-45
160	-55	172	-52	122	-43
179	-66	191	-56	157	-54
203	-58	208	-61	177	-59
218	-59	224	-55	216	-58
233	-67	244	-64	237	-59
252	-59	253	-58	253	-62

Fonte: Autoria Própria

Com os dados da tabela 3, foi possível obter as seguintes retas presentes na Figura 11, mostrando o comportamento da potência em relação à altura.

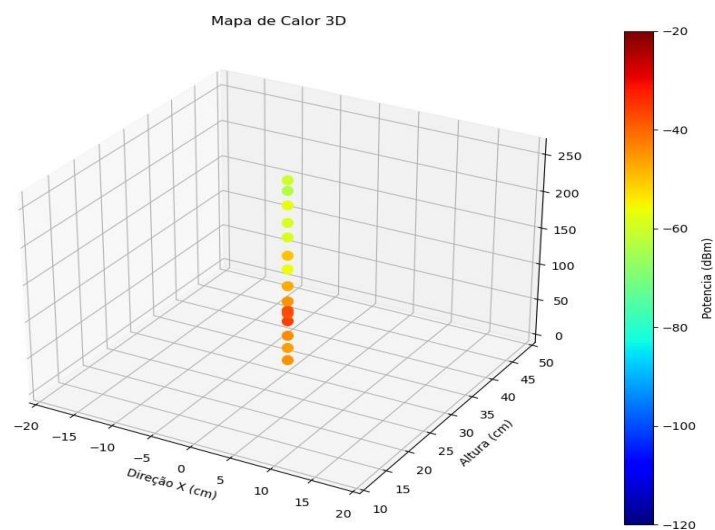
Figura 11 - Comportamento da potência em relação à altura.



Fonte: Autoria Própria

Ainda com os dados presentes na Tabela 3, foi utilizado o software de supervisão para gerar um gráfico com os valores médios dos três dados, o que resultou na Figura 12.

Figura 12 - Potência em relação a altura pelo software de supervisão.



Fonte: Autoria Própria

Através da análise das Figuras 11 e 12, observou-se que a potência no solo, altura zero, começou em torno de -40 dBm e foi aumentando até atingir seu máximo entre 60 e 70 centímetros em relação ao solo. Após isso, ao aumentar a altura, a potência caiu gradativamente até atingir -60 dBm em uma altura de 230 centímetros, teto do ambiente onde foi realizado as medições. Isso deve-se ao fato do roteador utilizado situar-se na altura de 60 centímetros. Assim, quando a altura é próxima à do roteador, a potência nessa coordenada (X,Y) é maior, pois, como visto anteriormente, a atenuação do sinal depende da distância entre a antena transmissora (roteador) e a antena receptora (módulo de coleta). Portanto, o resultado observado é totalmente

coerente, tendo em mente que se o módulo de coleta está posicionado na mesma altura do roteador tem-se a distância mínima entre as duas antenas para esta posição, implicando em uma menor atenuação e, consequentemente em um maior valor de potência de sinal.

4.4 MAPA DE CALOR

Após verificarmos a eficiência de medição do módulo de coleta, foi determinado uma área para comprovar a funcionalidade do projeto e realizadas, cerca de 800 medidas em uma área de 300 x 120 cm, ou seja, 36.000 cm² com uma altura de 100 cm. Esta área foi escolhida por ser o local em que está situado o roteador, responsável por transmitir o sinal Wi-Fi. além de não possuir obstáculos, além dos móveis do ambiente que interferissem nas medições, como observado na Figura 13.

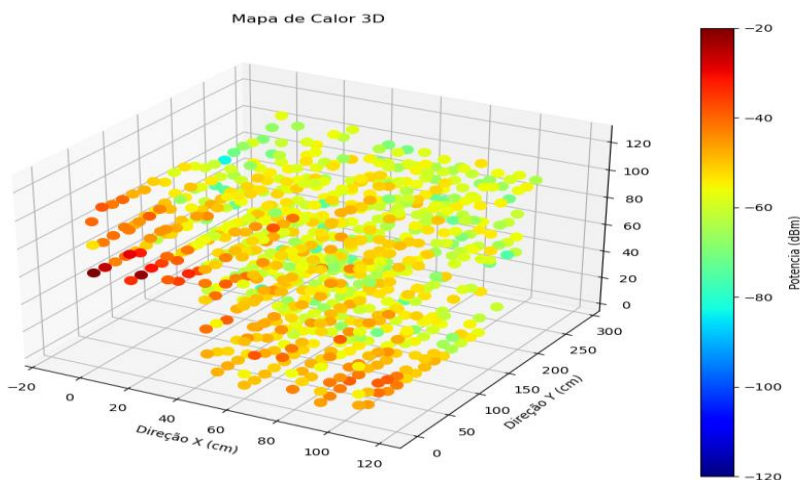
Figura 13 - Imagem do ambiente visão diagonal



Fonte: Autoria Própria

Por fim inserindo os dados coletados no software de supervisão pode-se obter o mapa de calor 3D da potência do sinal Wi-Fi, como exibido na figura 14.

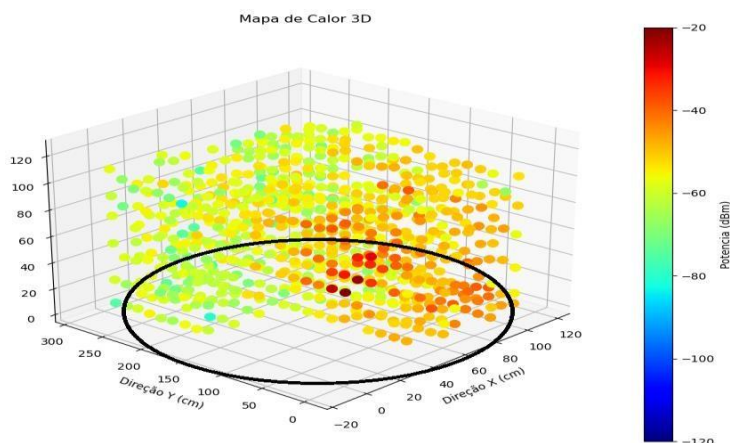
Figura 14 - Mapa de Calor 3D para sinal Wi-Fi



Fonte: Autoria Própria

Olhando atentamente ao mapa de calor gerado é possível observar o formato dos móveis que estão no ambiente, por exemplo a estante que sustenta o roteador vista na figura 13, tem seu formato visualizado pelos pontos que não foram plotados, como destacado na figura 15.

Figura 15- Mapa de Calor com destaque para estante



Fonte: Autoria Própria

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos resultados obtidos, o objetivo geral deste trabalho foi atingido com sucesso. Como visto, foi possível obter um mapa de calor, em três dimensões, da potência de sinal *Wi-Fi* do local escolhido e com valores práticos condizentes com o teórico.

Embora o projeto tenha sido bem sucedido, podem ocorrer melhorias para aumentar a precisão e praticidade na execução das medições. Uma alternativa para isso é a utilização de um sensor de localização para estabelecer as coordenadas X e Y, dos pontos medidos dando uma precisão muito maior para estas coordenadas, trazendo uma realidade maior para o mapa de calor.

Outra melhoria, seria a utilização de um drone para agilizar o processo de obtenção de dados. Assim o módulo de coleta seria acoplado ao drone para executar todas as medidas de modo mais prático.

Além disso, como o Thingspeak possui limitação de enviar dados a cada 15 segundos, uma alternativa viável para acelerar o processo de medição seria executar a coleta dos dados em um intervalo menor que 15 segundos. Com isso os dados seriam, necessariamente, armazenados na memória do ESP8266 e somente após a coleta de todos os dados ocorreria o envio para a plataforma do Thingspeak, respeitando suas limitações.

Portanto, mesmo que algumas melhorias tornem o módulo desenvolvido mais eficiente e/ou prático para executar sua função, o sistema desenvolvido atende todos os objetivos propostos no escopo do trabalho, sendo assim uma ferramenta muito útil para a execução de *site survey* de uma rede.

REFERÊNCIAS

TUMELEIRO, L. F.; COSTA, A. B.; HALMENSCHLAGER, G. D.; GARLET, M.; SCHIMITT, J.; **Internet Addiction: A Study with Young People in the Last Year of High School**. Gerais: Revista Interinstitucional de Psicologia. Minas Gerais, 2018. v 11(2) p 279-293. Disponível em: <http://pepsic.bvsalud.org/pdf/gerais/v11n2/07.pdf>. Acesso em: 21 abr. 2020.

SURESH, P. J.; DANIEL, J.V.; ASWATHY, R.H.; PARTHASARATHY, V. **A state of the art view on the Internet of Things(IOT): history, technology and fields of deployment**, 2014 International Conference on Science Engineering and Management Research (ICSEMR), Chennai, 2014. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7043637>. Acesso em: 30 mai. 2020

RODRIGUES, William Carlos de J., SANTOS, Ezequiel Ferreira dos. **Site survey: mapeamento, detecção de vulnerabilidades e análise de sinal de redes sem fio**. Exacta, São Paulo, 2007, 5(1), 69-78.. Disponível em: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81050107> Acesso em: 24 abr 2020.

BATISTA, Vinícius de Laet Duarte. **SOFTWARE LIVRE PARA WIRELESS SITE SURVEY**. 2017. 62 f. TCC (Graduação) - Curso de Ciência da Computação, Campus Formiga, Instituto Federal Minas Gerais, Formiga, 2017.

ZANONA, Eduardo Costa; BRANDÃO, Eduardo. **WIRELESS MAPPER: Ferramenta para site survey**. 2010. 60 f. TCC (Graduação) - Curso de Sistema de Informação, Faculdade de Informática, Pontifícia Universidade Católica, Porto Alegre, 2010.

DELOITTE. **The Economic Impact of Disruptions to Internet Connectivity**. Reino Unido, Outubro, 2016. THE GLOBAL NETWORK INITIATIVE. Disponível em: <https://globalnetworkinitiative.org/wp-content/uploads/2016/10/GNI-The-Economic-Impact-of-Disruptions-to-Internet-Connectivity.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2020.

WEST, D. M.; **Internet shutdowns cost countries \$2.4 billion last year**. Center for technology innovation at brookings, Outubro, 2016. Disponível em: www.brookings.edu/wp-content/uploads/2016/10/internet-shutdowns-v-3.pdf. Acesso em: 21 abr. 2020.

ALSAMHI, Saeed H.; MA, Ou; ANSARI, Mohammad S.; ALMALKI, Faris A. **Survey on Collaborative Smart Drones and Internet of Things for Improving Smartness of Smart Cities**, 2019. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8795473>. Acesso em: 25 abr. 2020.

POLTRONIERI, Fernando Augusto. **SITE SURVEY E CÁLCULO ZONA DE FRESNEL**. 2011. 73 f. TCC (Graduação) - Curso de Análise e Desenvolvimento de Sistemas, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2011.

PATIL, Suvarna; PATIL, Vipin; BHAT, Pallavi. A review on 5G technology. **International Journal of Engineering and Innovative Technology (IJEIT)**, v. 1, n. 1, p. 26-30, 2012. Disponível em: http://www.ijeit.com/vol%201/Issue%201/IJEIT1412201201_06.pdf . Acesso em: 29 abr. 2020.

ALENCAR, Marcelo Sampaio de; QUEIROZ, Wamberto José Lira de. **Ondas Eletromagnéticas e Teoria de Antenas**. São Paulo: Érica, 2010. 232 p.

ZVANIVEC, Stanislav; Pavel PECHAC; Martin KLEPAL. **Wireless LAN Network Design: Site Survey or Propagation Modeling?** **Radioengineering**, Praha, v. 4, p. 42-49, dez. 2003. Disponível em: https://www.radioeng.cz/fulltexts/2003/03_04_42_49.pdf. Acesso em: 25 jun. 2020.

RAPPAPORT, Theodore S. **Comunicações sem fio: princípios e práticas**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2009. 412 p.

OLIVEIRA, Samara Soares de. **Procedimento para escolha de pontos de acesso de redes sem fio Wi-fi indoor**. TCC(Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica com ênfase em Eletrônica, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014. Disponível em: http://www.tcc.sc.usp.br/tce/disponiveis/18/180450/tce-09102014-112114/publico/Oliveira_Samara_Soares_de.pdf. Acesso em: 24 jun. 2020.

MOREIRA, Adriano J. C. **Alguns aspectos que condicionam o desempenho dos sistemas de transmissão**, 1999. Disponível em: <http://www3.dsi.uminho.pt/adriano/Teaching/Comum/FactDegrad.html>. Acesso em: 30 mai. 2020.

NETSPOT. **Signal to noise ratio**. 2020. Disponível em: <https://www.netspotapp.com/pt/signal-to-noise-ratio.html>. Acesso em: 25 jun. 2020.

TELECO. **Wimax I :Conceituação Teórica**. 2020. Disponível em: https://www.teleco.com.br/tutoriais/tutoriawimaxpa1/pagina_2.asp. Acesso em 25 jun. 2020.

URVYVSKY, Leonid ;OSYPCHUCK, Serhii ;SHMIGEL, Bogdan . **The 802.11 Protocols Usage for Wireless Systems Construction with Flexible Architecture**. 13th International Conference on Modern Problems of Radio Engineering, Telecommunications and Computer Science (TCSET), Lviv, 2016, pp. 918-921 Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/7452225>. Acesso em: 30 mai. 2020.

KAR, Pushpendu; DAPPURI, Bhasker. **Site Survey and Radio Frequency Planning for the Deployment of Next Generation WLAN**, 2018. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8538731>. Acesso em: 24 mai. 2020.

ESPRESSIF SYSTEMS. **ESP8266EX Datasheet**. 2015. Disponível em: https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/ESP8266-NodeMCU-Datasheet.pdf. Acesso em: 27 nov. 2020.

MARIAN, Popescu. **HC-SR04 Datasheet**. 2020. Disponível em: <https://www.electroschematics.com/hc-sr04-datasheet/>. Acesso em: 27 nov. 2020.

ROBOCORE. **Conversor de nível lógico RC**. 2020. Disponível em: https://www.robocore.net/regulador-de-tensao/conversor-de-nivel-logico?gclid=CjwKCAiA5IL-BRAzEiwA0lcWYgJ54XWoZBjUvQ0UXYLnqQ-XPBK_z4ilb4PYRySITgu8Oxf8nB2GdxoCtv0QAvD_BwE. Acesso em: 27 nov. 2020.

SAMSUNG, Popescu. **Bateria Externa carga rápida 10.000mAh USB Tipo C**. 2020. Disponível em: <https://www.electroschematics.com/hc-sr04-datasheet/>. Acesso em: 27 nov. 2020.

GUO,Yiqing ; JIA,Xiuping ; PAULL, David ; ZHANG,Junpeng ; FAROOQ,Adnan ; CHEN,Xiaolin ; ISLAM,Md. Nazrul.**A Drone-Based Sensing System to Support Satellite Image Analysis for Rice Farm Mapping**, IGARSS 2019 - 2019 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Yokohama, Japan, 2019, pp. 9376-9379. Disponível em: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8898638>. Acesso em: 22 jun. 2020

HARRIS, C.R., MILLMAN, K.J., van der WALT, S.J. et al. Array programming with NumPy. Nature 585, 357–362 (2020). DOI: 0.1038/s41586-020-2649-2. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/s41586-020-2649-2>. Acesso em : 29 out. 2020.

HUNTER,John D.; **Matplotlib: A 2D Graphics Environment**, Computing in Science & Engineering, vol. 9, no. 3, pp. 90-95, 2007.

WICHMANN,Mats. **Python Books:Reference Books**, 2019. Disponível em: <https://wiki.python.org/moin/ReferenceBooks>. Acesso em: 22 jun. 2020.