

SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL  
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR DOM PEDRO II

AUTORES: Gabriel **Spindola** da Motta Ferreira – Cadete BM  
João Vitor Mendes da Silva – Cadete BM

ORIENTADOR: Raphael Luiz Pereira **Palmieri** – Capitão BM

**ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO ANALISADOR DE ESPECTRO EM  
OPERAÇÕES DE BUSCA E RESGATE EM ESTRUTURAS COLAPSADAS  
DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE  
JANEIRO**



AUTORES: Gabriel **Spindola** da Motta Ferreira – Cadete BM  
**João Vitor** Mendes da Silva – Cadete BM

ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO ANALISADOR DE ESPECTRO EM  
OPERAÇÕES DE BUSCA E RESGATE EM ESTRUTURAS COLAPSADAS DO  
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como  
requisito parcial para conclusão do Curso de Formação de  
Oficiais do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio  
de Janeiro.

ORIENTADOR: Raphael Luiz Pereira **Palmieri** –  
Capitão BM QOC/09

**SECRETARIA DE ESTADO DE DEFESA CIVIL  
CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO  
ACADEMIA DE BOMBEIRO MILITAR DOM PEDRO II  
CURSO DE FORMAÇÃO DE OFICIAIS**

AUTORES: Gabriel **Spindola** da Motta Ferreira – Cadete BM e **João Vitor** Mendes da Silva – Cadete BM

TÍTULO: ESTUDO DA UTILIZAÇÃO DO ANALISADOR DE ESPECTRO EM OPERAÇÕES DE BUSCA E RESGATE EM ESTRUTURAS COLAPSADAS DO CORPO DE BOMBEIROS MILITAR DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

Aprovado em \_\_\_\_ de \_\_\_\_\_ de 2024

Banca de Avaliação

---

Presidente

---

Avaliador 1

---

Avaliador 2

**TÍTULO:** Estudo da utilização do analisador de espectro em operações de busca e resgate em estruturas colapsadas do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro.

## **RESUMO**

**INTRODUÇÃO:** A localização de vítimas soterradas é uma das principais preocupações das equipes de resgate após a ocorrência de um desastre, obrigando-as a trabalhar com incerteza quanto aos pontos de busca e sob o risco de novos deslizamentos. Nesse contexto, novas tecnologias vêm sendo testadas para facilitar esse trabalho e diminuir o tempo decorrido até o resgate das vítimas ou recuperação dos corpos, sendo uma delas o Analisador de Espectro acoplado à Antena Diretiva, um equipamento de emprego recorrente pela Agência Nacional de Telecomunicações na identificação e fiscalização de interferências em transmissões de radiofrequência, que pode ser utilizado para identificar sinais emitidos por aparelhos celulares próximos às vítimas. **MÉTODOS:** quatro testes foram realizados no pátio de treinamento do 2º Grupamento de Socorro Florestal e Meio Ambiente, simulando um cenário de desabamento, com equipamentos de mesmas especificações técnicas, sendo dois analisadores de espectro de modelos ANRITSU MS2720T e KEYSIGHT N9936B e duas antenas diretivas de modelos R&S HF906 e AQUARIO SN:714021 operando na faixa de frequência de 800 MHz. Permitiu-se avaliar variáveis como a precisão do sinal captado pelo analisador de espectro e o tempo de resposta para localizar dispositivos móveis em diferentes condições de bloqueio, incluindo obstáculos físicos e interferências de estruturas metálicas, fazendo-se um comparativo de média e desvio padrão entre leituras consecutivas para cada situação para avaliar sua precisão. **RESULTADOS:** os resultados indicaram que o uso do analisador de espectro pode ser eficaz em áreas com poucos obstáculos e em pequenas profundidades, mas apresenta limitações em cenários mais complexos, como quando há interferências de metais, presença de água ou profundidades superiores a 2 metros. **CONCLUSÃO:** embora promissora, a tecnologia ainda precisa de mais testes e refinamentos para ser plenamente implementada em operações de resgate em larga escala.

Palavras-chave: Análise de sinal; Celulares; Desastre; Localização de vítimas; Radiofrequência; Tecnologia.

TITLE: Study of the use of the spectrum analyzer in search and rescue operations in collapse structures of the Military Fire Department of the State of Rio de Janeiro.

## ABSTRACT

**INTRODUCTION:** Locating buried victims is a major concern for rescue teams following a disaster, requiring them to work with uncertainty regarding search areas and under the risk of further landslides. In this context, new technologies are being tested to facilitate these efforts and reduce the time taken to rescue victims or recover bodies. One such technology is the Spectrum Analyzer coupled with a Directional Antenna, a device commonly used by the National Telecommunications Agency for identifying and monitoring radio frequency transmission interferences, which can also be used to detect signals emitted by cell phones near victims. **METHODS:** Four tests were conducted in the training yard of the 2nd Forest and Environment Rescue Group, simulating a collapse scenario. The equipment used had the same technical specifications, including two spectrum analyzers — the ANRITSU MS2720T and KEYSIGHT N9936B models — and two directional antennas — the R&S HF906 and AQUARIO SN:714021 models — operating in the 800 MHz frequency band. These tests evaluated variables such as the precision of the signals detected by the spectrum analyzer and the response time to locate mobile devices under various blocking conditions, including physical obstacles and metal structure interferences. A comparative analysis of the mean and standard deviation of consecutive readings for each situation was conducted to assess precision. **RESULTS:** The results indicated that the spectrum analyzer could be effective in areas with few obstacles and at shallow depths, but it encounters limitations in more complex scenarios, such as those with metal interference, water presence, or depths exceeding 2 meters. **CONCLUSION:** Although promising, this technology requires further testing and refinements before it can be fully implemented in large-scale rescue operations.

Keywords: Cell phones; Disaster; Location of victims; Radio Frequency; Signal analysis; Technology.

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>8</b>
<b>2. MÉTODOS.....</b>	<b>11</b>
2.1. Delineamento do Estudo .....	11
2.2. Amostra .....	11
2.3. Aspectos Éticos .....	12
2.4. Analisador de Espectro.....	12
2.5. Antena Direcional .....	13
2.6. Procedimentos de Coleta.....	15
2.7. Tratamento Estatístico.....	17
<b>3. RESULTADOS .....</b>	<b>18</b>
<b>4. DISCUSSÃO.....</b>	<b>22</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>26</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>27</b>

## 1. INTRODUÇÃO

No período entre 2011 e 2022, o Brasil foi atingido por desastres naturais com múltiplas vítimas, mobilizando corpos de bombeiros de todo o território nacional. Como destaque, os deslizamentos na região serrana em 2011, o rompimento das barragens de Mariana em 2015 e Brumadinho em 2019, e, mais recentemente, os sucessivos deslizamentos em Petrópolis de 2022, ceifaram ao todo mais de 1.400 vidas (CARVALHO, 2022; MACHADO et al., 2023).

Pristo et al. (2018) destacam que o Estado do Rio de Janeiro costuma enfrentar um período intenso de chuvas entre os meses de outubro a março, que por vezes acomete movimentos de massa em regiões de alto risco, como encostas com moradias irregulares. Como agravante, Mori (2022) alerta que a incidência de tragédias relacionadas ao forte índice pluviométrico vem aumentando consideravelmente nos últimos anos, tendo o ano de 2022 registrado mais de 450 mortes por excesso de chuva no Brasil, enquanto 2021 e 2020 registraram 300 e 200 mortes, respectivamente.

A relevância dada à ocorrência desses eventos refletiu-se em mudanças de técnicas e procedimentos operacionais do Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro (CBMERJ). Em 2013, por exemplo, foi criado o Curso de Operações de Salvamento em Desastres (COSD), fruto da necessidade da corporação em estabelecer uma doutrina quanto a este tipo de atividade, bem como novos equipamentos foram integrados aos socorros de busca e salvamento.

Contudo, mesmo com os avanços já realizados, as observações empíricas apontam para dificuldades de encontrar os corpos das vítimas, obrigando as equipes de resgate a trabalharem com incerteza quanto aos pontos de busca, sob o risco de novos deslizamentos a todo instante, como ocorreu na operação de resgate de 2022, em Petrópolis.

Nesse sentido, devido à elevada quantidade de eventos dessa natureza, onde a situação em que uma vítima que precisa ser resgatada possa ser perigosa demais até para a própria equipe de salvamento, o uso de tecnologias e a adoção de métodos passam a ser importantes aliados para atingir os objetivos da operação com eficiência e eficácia (SILVA, 2018).

Dentre as tecnologias existentes atualmente para a localização de vítimas soterradas e que vêm sendo utilizadas no CBMERJ, destacam-se os drones de sobrevoo de áreas afetadas por desabamento e movimento de massa com câmera térmica acoplada, os quais fornecem imagens de alta resolução com sistemas de detecção de calor que auxiliam na identificação de vítimas (CBMERJ, 2024). E, de forma adicional, ainda não aplicada na corporação, mas experimentada por instituições de outros Estados, observa-se a adaptação de equipamentos para o rastreamento de dispositivos móveis, que podem auxiliar a localizar uma pessoa através de seus aparelhos telefônicos de uso pessoal (STABILE e TAVARES, 2023). Um exemplo dessa aplicação ocorreu

na tragédia de Brumadinho, em 2018, onde militares das Forças de Defesa de Israel utilizaram um equipamento similar a um tablet, com um software embutido, que permitia localizar aparelhos celulares até 4 metros de profundidade ao se conectar com as redes das operadoras e buscar sinais em uma área de cobertura (JR, 2019).

Como os eventos de desastre vêm se tornando mais complexos e recorrentes, é relevante o contínuo aprimoramento das técnicas de resgate, com a implementação de novas tecnologias que busquem tornar ainda mais eficiente o serviço prestado à população, diminuindo o tempo de busca até a localização das vítimas.

Assim, o rastreamento de aparelhos celulares de vítimas de desastre, realizado através da busca pela transmissão de suas ondas eletromagnéticas, como realizado pelas Forças de Defesa de Israel em 2019, pode ocorrer por meio de um equipamento denominado Analisador de Espectro e configurar uma importante vantagem para os bombeiros. Este procedimento técnico de resgate também foi utilizado pelos bombeiros militares de São Paulo após deslizamentos consecutivos em São Sebastião/São Paulo em fevereiro de 2023. Na ocasião, um operador da Agência Nacional de Telecomunicações (ANATEL) utilizou o equipamento para identificar aparelhos de celular que estavam na área soterrada, apontando-o na direção dos escombros para captar as ondas eletromagnéticas enviadas por celulares que tentavam obter sinal das operadoras telefônicas, auxiliando a encontrar 20 vítimas que estavam sob escombros (STABILE e TAVARES, 2023).

Do exemplo anterior, observa-se que o equipamento em questão tem potencial para representar uma ferramenta importante em cenários de desastre. As equipes de resgate podem ser capazes de estabelecer com precisão um ponto de referência para a busca de vítimas soterradas, não se guiando apenas por estimativas, favorecendo uma resposta mais rápida.

Villa (2021) indica que esses equipamentos efetuam o sensoriamento dos sinais de uma determinada faixa de frequência, detectando interferências, avaliando o funcionamento de uma determinada rede, dentre outras funcionalidades. São amplamente utilizados pela Anatel para monitorar frequências que possam interferir e prejudicar serviços de telecomunicação, e vêm sendo empregados pela agência em operações de desastre diversas no Brasil para auxiliar as equipes desde 2019, quando houve o desabamento de um prédio em Fortaleza, no Ceará, rastreando os sinais telefônicos das vítimas sob escombros (G1, 2019).

Os fiscais da Anatel alertam, no entanto, para o fato de que o aparelho funciona com eficácia somente quando as vítimas estão próximas à superfície, e quando o terreno permite que os operadores se aproximem o suficiente dos escombros (STABILE e TAVARES, 2023). A empresa fornecedora do equipamento complementa que a qualidade do sinal obtido no analisador de espectro varia conforme a antena direcional do aparelho é movida pelo ambiente: a localização



física da interferência pode ser obtida quando a intensidade do sinal for máxima, mas isso é dificultado pela presença de objetos que refletem o sinal captado, gerando reflexões e confundindo o equipamento (AGILENT TECHNOLOGIES, 2012).

Por isso, Agilent Technologies (2012) reforça que é importante fazer a medição do ponto mais alto possível, como em telhados e prédios altos. E afirma, ainda, que triangular uma posição aproximada do sinal interferente, com o analisador de espectro em mãos e a antena direcional buscando a amplitude máxima do sinal combinando medições direcionais em diversos pontos, permite que se obtenha a localização exata de uma fonte de sinal oriunda de dispositivo eletrônico.

Apesar disso, para o uso do equipamento em eventos de desastres naturais, deve-se considerar o cenário caótico encontrado pelas equipes de resgate no momento do socorro. Sabe-se das limitações do equipamento em condições normais de operação, mas não foram encontradas na literatura experiências que relatassem a efetividade desse método de busca de vítimas em operações de resgate, e tampouco no rastreamento de aparelhos telefônicos que possam estar sem sinal, permanecendo-o como um método empírico e em fase de testes até o momento.

Nos cenários de desastres, pode haver abundantes interferências e ruídos que afetem a capacidade dos analisadores de espectro de detectar e localizar sinais de celular de maneira precisa, tais como a interferência de outros dispositivos eletrônicos e estruturas danificadas. Deve-se considerar ainda que as vítimas podem não estar próximas à superfície, o que ainda não foi relatado em trabalhos científicos. Além disso, a falta de padronização dos protocolos para o uso de analisadores de espectro em situações de desastre pode levar a abordagens variadas por parte das equipes de resgate e socorro, tornando seu uso superestimado em algumas situações.

Portanto, o objetivo desta pesquisa foi investigar o uso do analisador de espectro com antena diretiva na localização precoce de vítimas em situações de desastres naturais. Secundariamente, buscou-se melhor compreensão quanto às limitações de aplicação do equipamento e quanto aos procedimentos mais adequados de operação, vislumbrando a utilização por equipes de busca e salvamento do CBMERJ.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Delineamento do Estudo

Para atingir os objetivos propostos, foi delineado um estudo experimental de natureza aplicada, com abordagem qualitativa. A amostra foi composta por testes em um ensaio de campo realizado no Pátio de Treinamento do 2º Grupamento de Socorro Florestal e Meio Ambiente (2º GSFMA), onde foi empregado o Analisador de Espectro acoplado a uma antena diretiva para avaliar o tempo de resposta da equipe de resgate na localização das vítimas, mediante o rastreamento de aparelhos telefônicos dispostos aleatoriamente no campo, sem conhecimento dos operadores. Foram avaliadas no equipamento as seguintes variáveis: *intervalo entre leituras de sinal e acurácia na detecção do celular*, buscando qualificar sua capacidade operacional.

### 2.2. Amostra

O presente estudo teve como amostragem a realização de quatro testes no Pátio de Treinamento do 2º GSFMA, local que simula uma área quente de evento de desabamento, contendo estruturas colapsadas (como lajes, manilhas e vigas de concreto armado) dispostas de forma aleatória sobre um terreno irregular.

Em cada ensaio, a qualidade do sinal foi avaliada qualitativamente, considerando o tempo necessário para obter uma captação significativa na direção imposta ao equipamento. A acurácia na detecção do celular foi definida pela capacidade do aparelho de localizar ou não o telefone, determinando assim o fim do teste.

Para a realização dos ensaios, foram dispostos três aparelhos celulares de forma aleatória no terreno, e o operador do analisador de espectro atuou de forma a ser capaz de localizar com precisão a origem do sinal de celular sem quaisquer informações preliminares. O primeiro teste realizado teve função apenas de conferência do equipamento, para avaliar sua responsividade ao sinal do aparelho telefônico sem a presença de obstáculos.

A relação dos parâmetros em cada ensaio realizado é ilustrada na Tabela 1.

**TABELA 1 – RELAÇÃO DOS ENSAIOS REALIZADOS**

<b>TESTE</b>	<b>PARÂMETROS</b>
<b>1</b>	Conferência do equipamento/sem obstáculo
<b>2</b>	Com obstáculo/sem realização de chamada de VOZ
<b>3</b>	Com obstáculo/com realização de chamada de VOZ
<b>4</b>	Com obstáculo/com realização de chamada de voz/interferência de estrutura metálica

Fonte: Os autores;

Legenda: 1 = Teste 1; 2 = Teste 2; 3 = Teste 3; 4 = Teste 4.

Embora esse estudo possa ser considerado uma amostra representativa para eventos de desabamento de estruturas, é importante ressaltar que a coleta de resultados e a eficiência do analisador de espectro podem variar conforme a natureza da estrutura colapsada (em concreto armado ou metálica), a presença de interferências externas no cenário (estradas, torres de alta tensão, celulares ligados que não sejam das vítimas) e a presença de água ou não na estrutura. Sendo assim, a amostra é representativa para estruturas colapsadas em concreto armado em que não haja interferências externas próximas e água em seu interior.

### **2.3. Aspectos Éticos**

Os testes realizados tiveram anuência das instituições participantes, sendo um trabalho conjunto com cooperação do Estado-Maior Geral do CBMERJ, do 2º GSFMA e do Grupamento de Busca e Salvamento (GBS). Todos os participantes e colaboradores dos ensaios foram devidamente instruídos quanto à realização dos procedimentos de coleta de dados e eventuais riscos e benefícios de suas participações no presente Trabalho de Conclusão de Curso.

Foi respeitada a propriedade intelectual da ANATEL quanto ao pioneirismo no uso do Analisador de Espectro acoplado à Antena Diretiva para localização de vítimas soterradas. Nesse sentido, o presente estudo corrobora a importância da geração de dados por novas tecnologias em cenários de desastre e visa compartilhar essas informações para estimular o incremento tecnológico da corporação.

### **2.4. Analisador de Espectro**

No estudo, foram utilizados os Analisadores de Espectro de modelos ANRITSU MS2720T (Figura 1A) e KEYSIGHT N9936B (Figura 1B). Com o auxílio de uma antena diretiva acoplada

ao aparelho, o operador realiza a leitura dos sinais de radiofrequência emitidos pelos celulares, que são representados na tela do equipamento em um gráfico de frequência pela intensidade do sinal (em dB). Nesse gráfico, indicado na Figura 1A pelo visor do equipamento, avalia-se o momento em que ocorre um aumento de intensidade da onda detectada para direcionar o operador da antena ao local mais provável onde esteja o aparelho celular.

Apesar de serem de modelos diferentes, os aparelhos possuem as mesmas características operacionais, logo a maneira de avaliação dos parâmetros indicados em ambos os visores dos equipamentos é a mesma.

**FIGURA 1 – ANALISADOR DE ESPECTRO MODELOS ANRITSU MS2720T (FIG. 1A) E KEYSIGHT N9936B (FIG. 1B)**



Figura 1A



Figura 1B

Fonte: Os autores;

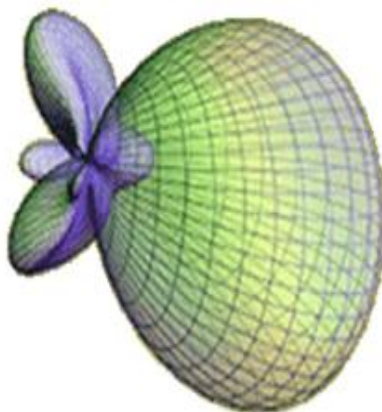
Legenda: Figura 1A = Modelo ANRITSU MS2720T; Figura 2B = Modelo Keysight N9936B.

## 2.5. Antena Direcional

A polarização de um campo eletromagnético consiste na descrição da forma, orientação e sentido da elipse que a extremidade do vetor de campo descreve em função do tempo. Nesse mesmo sentido, a polarização de uma antena em determinada direção se caracteriza pela direção estabelecida pela radiação da onda eletromagnética (IEEE, 2014).

As antenas direcionais, então, são aquelas que possuem a propriedade de irradiar ou de receber ondas eletromagnéticas mais eficientemente em certas direções do que em outras. Freitas (2008) destaca a Figura 2, que ilustra o padrão de radiação desse tipo de antena, mostrando o padrão direcional, que consiste em um lóbulo principal de maior intensidade, pelo qual a antena está polarizada, e lóbulos laterais e traseiros de menor intensidade.

**FIGURA 2 - EXEMPLO DE PADRÃO TRIDIMENSIONAL DE ANTENA DIRECIONAL**



Fonte: FREITAS (2008).

As antenas podem ser do tipo transmissão ou recepção. Nas antenas de recepção, que foram utilizadas no presente estudo, os sinais eletromagnéticos são captados através de um transdutor que converte energia de radiofrequência em energia elétrica (TUTORIALSPPOINT, 2024). A energia elétrica transformada pode ser analisada em termos de frequência de sinal por meio de instrumentos como os analisadores de espectro (RAUSCHER et al., 2008). Quanto mais elementos laterais a antena possuir, mais estreito será o feixe de iluminação da antena, e ela possuirá uma diretividade maior, ou seja, maior capacidade de captar sinais em determinada direção (BALANIS, 2005). Dessa maneira, a leitura pelo equipamento de um sinal mais intenso poderá ser interpretada como um alinhamento mais preciso da antena com a fonte de transmissão, que poderá ser um rádio ou um celular, por exemplo, a depender da faixa de frequência estabelecida de recepção.

No presente trabalho, conforme ilustrado na Figura 3A, foram utilizadas antenas direcionais de modelos R&S HF906 (centro) e AQUARIO SN:714021 (à direita). A antena direcional utilizada em São Sebastião (São Paulo) na operação de apoio da ANATEL, citada na Introdução, está à esquerda da imagem e é de modelo ROHDE&SCHWARZ HL040, mas não foi utilizada porque seu peso é maior, oferecendo maiores dificuldades ao operador.

A antena de modelo AQUARIO SN:714021 (Figura 3B) é tida pela ANATEL como ideal para a captação de sinais de celular, porque opera somente na faixa de frequência do celular, sendo algo em torno de 800 MHz, abrangendo tanto a rede 2G quanto a rede 3G. Nesse sentido, essa faixa corresponde a uma maior chance de localizar celulares sob escombros, já que, nas periferias, o operador não costuma detectar sinal de rede 5G, e a rede 4G trabalha em uma faixa de 700 MHz de forma mal distribuída geograficamente.

### FIGURA 3 - ANTENAS DIRECIONAIS UTILIZADAS PELA ANATEL NA FAIXA DE FREQUÊNCIA DO SINAL DE CELULAR



Figura 3A



Figura 3B

Fonte: Os autores;

Legenda: Figura 3A = Conjunto de antenas direcionais possíveis de serem aplicadas; Figura 3B = Antena AQUARIO SN:714021

#### 2.6. Procedimentos de Coleta

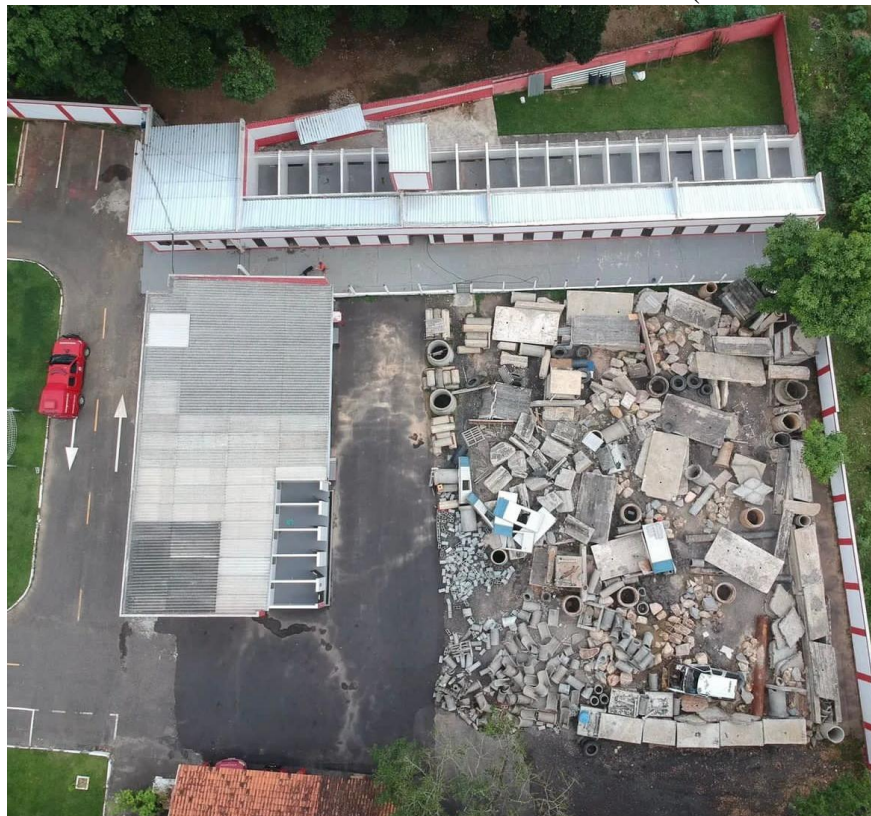
O experimento proposto foi realizado no Pátio de Treinamento “Cão Lost” do 2º GSFMA, e consistiu em posicionar três aparelhos celulares, de forma aleatória, no interior dos escombros do cenário simulado. Em seguida, sem o conhecimento prévio da localização dos aparelhos, dois agentes da ANATEL operaram o analisador de espectro acoplado a uma antena direcional, apontando-a na direção dos escombros para buscar sinais de radiofrequência celular e modificando suas posições para obter maior precisão na leitura do equipamento.

O cenário é mostrado na Figura 4, tem uma área total de 400 m<sup>2</sup> e busca reproduzir as situações adversas encontradas em um cenário real de desabamento. Para que fosse possível realizar a leitura do sinal, o Analisador de Espectro teve que ser configurado na faixa de radiofrequência celular em que cada operadora trabalhava. Para que não fosse necessário realizar a troca da faixa de frequência durante o teste, foram utilizados somente celulares com operadora CLARO, que operava no intervalo de radiofrequência de 800 MHz, mas se deve ter em mente que, em um cenário real, essa troca seria primordial para o sucesso das buscas.

Todos os celulares da equipe de intervenção permaneceram desligados ou em Modo Avião, para que não causassem interferência na leitura do sinal emitido pelos celulares mantidos sob escombros, que estavam ligados.

Vale ressaltar que, conforme relatado pelos operadores do equipamento da ANATEL, o alcance vertical das antenas diretivas utilizadas não ultrapassa profundidades maiores de 2 metros, principalmente se o solo estiver úmido. Com isso em vista, e pelas limitações físicas do pátio de treinamento utilizado, o presente estudo se limitou a avaliar apenas a capacidade operativa em cenários de desabamento, e não em cenários de soterramento.

**FIGURA 4 - PISTA DE TREINAMENTO DO 2º GSFMA (VISTA SUPERIOR)**



Fonte: Redes sociais do 2º GSFMA (2024).

O princípio básico da localização consistiu em fazer uma coordenada geográfica com a provável localização do aparelho celular procurado. Para que isso fosse feito, o analisador de espectro foi sintonizado na faixa de frequência operada pelo aparelho celular (em torno de 800 MHz), para identificar o sinal de radiofrequência transmitida pelos celulares no visor do equipamento.

Feito isso, seguiu-se para o início dos procedimentos in loco: em determinado ponto, que foi escolhido aleatoriamente no cenário, o operador apontou a antena direcional para uma direção, que, em um cenário real, poderia ser definida segundo relato de populares acerca da provável existência de vítimas. Detectada a presença de sinal de radiofrequência na direção apontada, o operador se deslocou para outra posição e realizou o mesmo procedimento, a fim de marcar uma segunda posição e obter, assim, a definição de um ponto com a coordenada aproximada do local

onde estaria a fonte de emissão de radiofrequência. O processo foi repetido quantas vezes foram necessárias, até que o sinal de radiofrequência recebido estivesse forte o suficiente para que fosse possível localizar o celular.

## **2.7. Tratamento Estatístico**

Os resultados obtidos foram compilados e apresentados descritivamente, possibilitando análise mais clara e comparação entre as observações realizadas. Os dados coletados foram o intervalo entre cada leitura realizada pelo equipamento e o tempo decorrido desde o início do teste, e realizou-se uma avaliação da média e desvio padrão dos valores obtidos para efeito de comparação qualitativa entre cada teste.

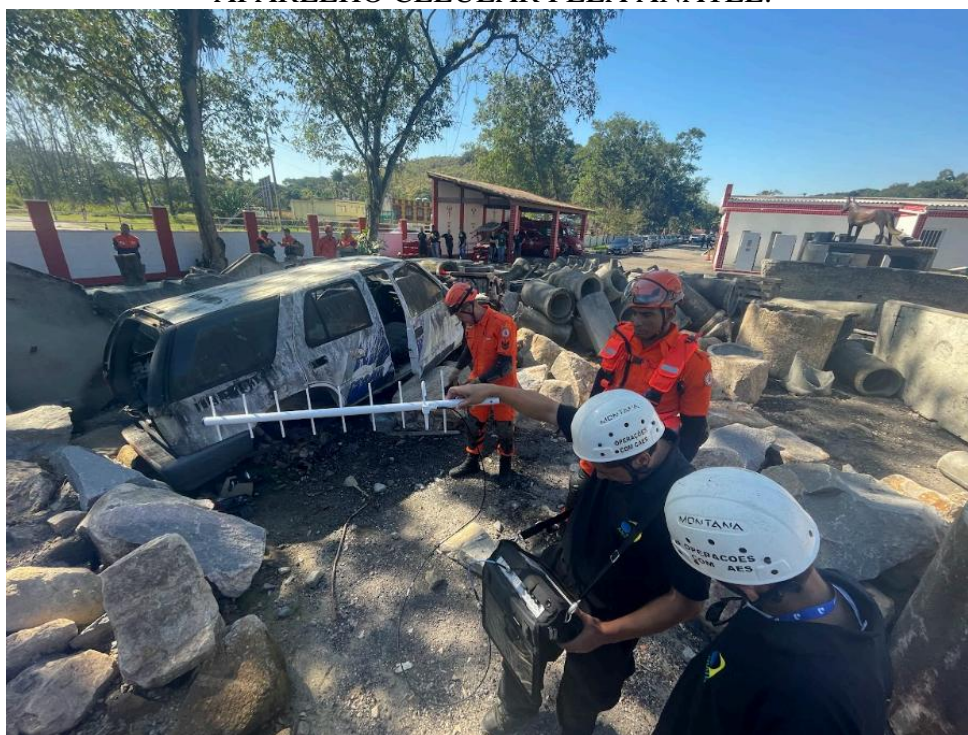


### 3. RESULTADOS

Os quatro testes foram realizados no mesmo dia e pela mesma equipe de operadores e resgatistas. O analisador de espectro foi ligado apenas uma vez para a coleta das amostras e se manteve ligado durante toda a realização do teste, para avaliar o desempenho da bateria após minutos ou horas de operação.

A equipe de operadores inicialmente realizou o Teste 1 com um celular à frente da antena diretiva e com o equipamento ligado, para verificar possíveis problemas iniciais de leitura e mostrar à equipe como ocorre o seu funcionamento, conforme mostrado na Figura 5.

**FIGURA 5 - REALIZAÇÃO DA DETECÇÃO DE SINAIS DE RADIOFREQUÊNCIA DO APARELHO CELULAR PELA ANATEL.**



Fonte: Os autores.

Para a realização do Teste 2, uma equipe da ANATEL composta por dois operadores e dois militares do GBS adentraram na área quente da pista de treinamento e fizeram uma varredura inicial para verificar possíveis detecções iniciais. Alguns minutos depois, realizaram a leitura de um primeiro sinal, do qual foi possível ter uma orientação preliminar acerca da posição do celular. A cada sinal encontrado, a equipe variava sua posição, para que a localização do sinal ficasse mais precisa. Sendo assim, após seis leituras pela equipe e 43 minutos decorridos do início do ensaio, o celular foi encontrado. A Figura 6 ilustra o deslocamento da equipe na pista de treinamento e a localização exata do aparelho telefônico encontrado no primeiro teste. Vale ressaltar que, nesse

primeiro momento, não houve a tentativa de ligar para o aparelho procurado para facilitar a leitura do sinal pelo analisador de espectro.

**FIGURA 6 - MOVIMENTAÇÃO DA EQUIPE NO TESTE 2**



Fonte: Os autores;

Legenda: X = Posição onde o celular foi encontrado.

O Teste 3 foi realizado com equipamentos que permitiam manter os parâmetros avaliados, porém de modelos diferentes. Nesse teste, observou-se a ocorrência de um falso encontro, pois o equipamento localizou sinais de radiofrequência no mesmo local do celular que já havia sido localizado e removido, o que se imagina ter sido causado pela reflexão das ondas emitidas pelo primeiro aparelho na estrutura onde ele foi retirado. Isso fez com que a equipe mudasse de posição, e fizesse o seguinte teste: de posse do número de telefone do aparelho que estava mais próximo a ela, ligou-se para esse celular para avaliar se haveria alguma mudança de leitura no equipamento.

Feito isso, observou-se o aumento considerável da leitura de sinal no analisador de espectro, que indicou com precisão de qual direção ele vinha enquanto a ligação era realizada. Decorridos 30 minutos do início do teste, o segundo celular foi encontrado no interior de uma estrutura paralelepipedal de concreto. O deslocamento da equipe na pista de treinamento é ilustrado pela Figura 7, e a Tabela 2 reúne os resultados dos Testes 2 e 3.

**FIGURA 7 - MOVIMENTAÇÃO DA EQUIPE NO TESTE 3, COM A OBTENÇÃO DE UM FALSO ENCONTRO**



Fonte: Os autores;

Legenda: X = Posição onde o celular foi encontrado.

**TABELA 2 – RESULTADOS DOS TESTES 2 E 3**

	<b>LEITURA</b>	<b>TEMPO DECORRIDO (H:MIN)</b>	<b>INTERVALO ENTRE LEITURAS (H:MIN)</b>	<b>MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO INTERVALO ENTRE LEITURAS (MIN)</b>
<b>Teste 2</b>	<b>1</b>	00:07	00:07	7,2 ± 3,8
	<b>2</b>	00:22	00:15	
	<b>3</b>	00:25	00:03	
	<b>4</b>	00:32	00:07	
	<b>5</b>	00:39	00:07	
	<b>6</b>	00:43	00:04	
<b>Teste 3</b>	<b>1</b>	00:04	00:04	4,3 ± 2,5
	<b>2</b>	00:12	00:08	
	<b>3</b>	00:19	00:07	
	<b>4</b>	00:20	00:01	
	<b>5</b> (FALSO ENCONTRO)	00:24	00:04	
	<b>6</b>	00:29	00:05	
	<b>7</b>	00:30	00:01	

Fonte: Os autores;

Legenda: 1= Leitura 1; 2 = Leitura 2; 3 = Leitura 3; 4 = Leitura 4; 5 = Leitura 5; 6 = Leitura 6; 7 = Leitura 7.

O Teste 4 buscou avaliar a eficácia do equipamento com o celular dentro de alguma estrutura metálica ou com muitas ferragens por perto, logo o celular foi posicionado no interior de uma manilha de ferro. Inicialmente, o analisador de espectro não detectou sinais próximos, o que exigiu a realização de uma chamada telefônica para o número procurado para verificar se haveria alguma mudança. Feito isso, imediatamente foi realizada a leitura de um sinal forte, mas que rapidamente se perdeu. Realizou-se uma nova tentativa alguns minutos depois, porém sem sucesso.

#### 4. DISCUSSÃO

O emprego do analisador de espectro da ANATEL no pátio de desabamento do 2º GSFMA permitiu simular a eficácia do equipamento em uma situação real e avaliar a possibilidade de sua utilização pelas equipes de resgate do CBMERJ. Foi possível observar, na prática, a forma como o equipamento realiza a leitura de ondas de radiofrequência através das antenas diretivas, mediante a triangulação de sinais receptados, e a possibilidade real do equipamento obter a localização mais aproximada de um celular. Isso permitiu obter alguns parâmetros que serão discutidos nesse tópico.

Inicialmente, a respeito da qualidade do sinal captado pelo analisador de espectro, as informações presentes no manual de Agilent Technologies (2012) corroboram o que foi visto em campo e exposto nos resultados: quando o celular é posicionado à frente do equipamento, sem obstáculos, obtém-se um sinal de forte intensidade, o que não ocorre quando ele é inserido em um local de desabamento. As diversas estruturas em concreto armado, de formatos variados, reduzem a recepção das ondas de radiofrequência pelo equipamento, o que se traduz em uma média de tempo entre 4,3 e 7,2 minutos para captar cada sinal, cuja distância máxima horizontal até a fonte emissora é de 20 metros, com um metro de profundidade.

Em um cenário real, porém, o custo-benefício dessa estratégia de busca pode não ser positivo, tendo em vista que vítimas vivas e soterradas têm pouco tempo disponível para serem removidas sem agravamento de complicações fisiológicas, e a posição do celular não é certeza de sua localização. Ainda, a profundidade máxima atingida pelo equipamento, conforme relatado pelo operador da ANATEL, não supera 2 metros, o que limita sua confiabilidade em operações reais que possuam profundidades de soterramento maiores que isso.

Outra limitação a ser observada diz respeito à presença de meio aquoso no cenário. Piovezan e Andriolo (2004) expõem que se uma fonte emissora for mantida submersa, ocorrerá reflexão de boa parte das ondas de radiofrequência, dificultando a captação do sinal fora da água, uma vez que a maior parte das ondas sofrerá reflexão total na interface entre o ar e água. Ainda que não testada essa possibilidade no cenário simulado, é possível inferir que, se com estruturas diversas de concreto armado e manilhas de aço o sinal já foi consideravelmente prejudicado, aparelhos submersos teriam ainda mais dificultada a recepção de sinal, caso ele não estivesse danificado pelo meio líquido.

O Teste 4 revelou que o celular mantido no interior ou nas proximidades de alguma estrutura metálica robusta compromete consideravelmente a emissão de sinais e sua posterior recepção pelo analisador de espectro. Como a manilha de ferro deixou o celular sem sinal, em uma operação real isso significaria a sua impossibilidade de localização pelo equipamento, tendo em

vista que seria impedido de transmitir sinais de radiofrequência. Isso já era esperado que ocorresse, tendo em vista que Andersen et al. (1995) esclarecem em seus estudos que peças estruturais ou arquitetônicas de composição metálica impedem a transmissão de radiofrequência. Essa informação é reforçada por Rappaport (2002) ao apresentar a Tabela 3, que indica que na faixa de frequência dos celulares (aproximadamente 800 MHz), a perda de intensidade de sinal (em dB) pela reflexão em metais é a maior dentre os materiais empregados na construção de uma edificação, podendo variar desde uma perda de 26 dB (metais em geral) até 30 dB (perda de sinal ocorrida entre pavimentos de uma edificação).

**TABELA 1 – MEDIÇÕES MÉDIAS DE PERDA DE SINAL DE RADIOFREQUÊNCIA POR MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO COMUNS RELATADAS NA LITERATURA**

TIPO DE MATERIAL	PERDA (dB)	FREQUÊNCIA
Metal	26	815 MHz
Parede de concreto	13-20	1300 MHz
Perda entre pavimentos	20-30	1300 MHz

Fonte: Adaptado de Rappaport (2002).

Dentro da área de 400 m<sup>2</sup> do pátio de desastre do 2º GSFMA, o Teste 2 e o Teste 3 realizaram aproximadamente o mesmo número de leituras até a obtenção da localização exata do celular. A obtenção de um falso encontro no Teste 3 na mesma área onde anteriormente havia sido localizado o celular do Teste 2 aparenta estar diretamente ligada à reflexão das ondas de radiofrequência na própria estrutura colapsada.

Isso é corroborado pelo estudo de Hashemi (1993), que afirma que a reflexão, a refração e a dispersão das ondas de rádio por obstáculos (como estruturas de concreto armado e peças metálicas) fazem com que o sinal transmitido por um celular chegue a um receptor por mais de um caminho, resultando no fenômeno conhecido como *multipercorso em localização específica*. Ou seja, o sinal é combinado por caminhos diretos e indiretos pela sua interação com o concreto, a depender sua espessura e composição, e é refletido parcialmente, até ser receptado pelo analisador de espectro. A presença de armaduras metálicas potencializaria a reflexão dessas ondas, já que os metais são bons refletores de ondas eletromagnéticas, o que provocaria efeitos de interferência na leitura de sinais do equipamento.

O Teste 3 também permitiu verificar como a leitura do sinal pelo analisador de espectro se modifica e é intensificada ao ser efetuada uma ligação para o número do celular procurado. Rappaport (2002) explica que o fenômeno do sinal do celular aumentar com a realização da ligação ocorre devido à potência transmitida pelos celulares ser constantemente controlada pelas estações

rádio base, como uma maneira de garantir o nível necessário para manter uma boa qualidade de ligação entre dois usuários, assim como prolongar a bateria dos aparelhos ao não exigir uma potência elevada a todo instante.

Conforme é mostrado pela Tabela 2, a média do intervalo entre leituras do Teste 2 para o Teste 3 sofre uma redução de aproximadamente 40% ao ser realizada a ligação para o número de celular procurado, passando uma média de 7,2 minutos para 4,3 minutos. Em um cenário real, isso se reflete em um menor tempo necessário para encontrar a área aproximada onde a vítima possa estar localizada, aumentando as chances de sobrevivência de uma vítima viva soterrada ou reduzindo o tempo total de operação para recuperação dos corpos. Porém, apesar de facilitar as buscas em um cenário real, ainda assim exige o prévio conhecimento do número de celular das vítimas de uma localidade específica, caso contrário a eficácia do equipamento fica limitada à detecção pelo analisador de espectro de um sinal oportuno emitido aleatoriamente por um celular presente no interior da estrutura desabada.

O uso de antenas direcionais adequadas também se mostrou imprescindível na captação dos sinais. Conforme dito anteriormente, é necessário que elas possuam alto ganho para penetrar na diversidade de estruturas presentes, ao mesmo tempo em que devem ser capazes de operar na faixa de frequência do celular (aproximadamente 800 MHz). Isso se refletiu positivamente nos modelos de antena utilizados, tendo em vista que ambos foram capazes de identificar com precisão a localização dos celulares no terreno.

Concomitantemente ao uso de antenas direcionais com especificações técnicas adequadas, o processo de realização dos testes demonstrou a necessidade de triangulação de sinais a partir de múltiplas direções para refinar a localização ao cruzar as leituras obtidas de diferentes ângulos. Ao captar o sinal em várias posições, como realizado em cada teste, foi possível reduzir erros causados por reflexões ou obstáculos que pudessem interferir na direção real do objeto procurado, o que aumentava a precisão e diminuía a margem de erro. Isso justifica, por exemplo, o porquê da mudança de posição inicial no Teste 2 ter sido essencial para ser possível obter uma primeira leitura no analisador de espectro.

Nesse sentido, apesar das intempéries relatadas, o analisador de espectro acoplado à antena diretiva pode ser muito útil em cenários de desabamento não superiores a 2 metros de profundidade em que não ocorra submersão da estrutura em meio aquoso. Seu uso é viável de ser combinado com outras formas de busca já utilizadas, como por exemplo o uso de cães farejadores, de forma a diminuir o tempo de resposta, aumentar a acurácia na localização de vítimas e reduzir a exposição ao risco à área quente pelas equipes de resgate, evitando-se acidentes.

Ainda, é interessante que estudos futuros avaliem o impacto na medição de sinal de aparelhos celulares dispostos em diferentes profundidades, para avaliar o limite de precisão do equipamento, assim como em estruturas colapsadas com maior diversidade de materiais, como cerâmica, madeira e vigas metálicas. A exposição a um ambiente com maior número de interferências, como outros dispositivos eletrônicos, também deve ser testada para verificar o grau de perturbação provocada no equipamento.

De forma complementar, vale ressaltar que o analisador de espectro acoplado à antena diretiva pode também ser utilizado como apoio nas operações, ainda que não seja possível empregá-lo especificamente na localização de vítimas. Isso porque, conforme ressaltado por International Telecommunication Union (2019), é comum que, em situações de calamidade pública, o local atingido se encontre com os serviços de comunicação interrompidos, e o equipamento é capaz de identificar frequências de rádio que ainda estejam disponíveis para uso, como aquelas usadas por sistemas de rádio amador, comunicações de satélite ou bandas não licenciadas, auxiliado pela antena diretiva, que ajuda a focar em sinais de áreas específicas.



## 5. CONCLUSÃO

O presente estudo buscou investigar a eficácia do uso do Analisador de Espectro acoplado com antena diretiva na localização de vítimas soterradas pela ocorrência de desastres naturais, avaliando a possibilidade de o equipamento servir de apoio às operações de busca e resgate do CBMERJ.

De acordo com os resultados obtidos nos testes realizados com o equipamento, observou-se potencial para ser uma ferramenta útil nas operações do CBMERJ, especialmente em cenários com condições mais simples, onde a profundidade e a interferência de outros dispositivos eletrônicos não sejam excessivas, localizando celulares com razoável precisão.

No entanto, o estudo evidenciou limitações significativas relacionadas à eficácia do equipamento em ambientes mais complexos, com grandes obstáculos metálicos, presença de água ou profundidades superiores a 2 metros, tendo maior dificuldade em determinar a posição exata dos aparelhos. Por conta disso, para obter maior grau de confiança na operação, é recomendável que o uso dessa tecnologia seja combinado com outros métodos já empregados pelo CBMERJ, a exemplo dos cães farejadores, para otimizar o tempo de resposta e aumentar as chances de sucesso nas operações.

Portanto, embora promissor, o Analisador de Espectro ainda exige aperfeiçoamentos voltados à realidade complexa e imprevisível do evento de desastre natural, além de possuir a limitação de ser um equipamento cuja operação precise ser realizada por profissionais capacitados. Por mais que possa ser considerado uma ferramenta adicional e promissora para operações de resgate em desastres naturais, oferecendo uma importante vantagem tecnológica, estudos futuros devem ser realizados para aumentar a compreensão de suas capacidades em outros cenários, bem como para validar parâmetros objetivos que norteiem a decisão quanto à aplicação do equipamento.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agilent Technologies. Testando interferências com analisadores de espectro de mão. Disponível em: [https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/1/1b/CMS60808\\_2016-1\\_Aula\\_7\\_-\\_Artigo.pdf](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/images/1/1b/CMS60808_2016-1_Aula_7_-_Artigo.pdf). Acesso em: 15 mar 2024.

Andersen JB, Rappaport TS, Yoshida S. Medidas de propagação e modelos para canais de comunicação sem fio. *IEEE Commun Mag* 1995;33(1):42-9.

Balanis CA. *Antenna Theory: Analysis and Design*. 3ª edição. Hoboken (NJ): Wiley-Interscience; 2005.

Carvalho B. Em 2011, chuvas que atingiram região serrana do RJ deixaram quase mil mortos. CNN. 16 fev 2022. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/noticias/em-2011-chuvas-que-atingiram-regiao-serrana-do-rj-deixaram-quase-mil-mortos/#:~:text=Um%20outro%20desastre%20clim%C3%A1tico%20atingiu,conta%20do%20risco%20de%20desabamento>>. Acesso em: 27 fev 2024.

Corpo de Bombeiros Militar do Estado do Rio de Janeiro. Drones do Corpo de Bombeiros auxiliam na busca por desaparecidos em Petrópolis. CBMERJ. 2024. Disponível em: <https://www.cbmerj.rj.gov.br/drones-do-corpo-de-bombeiros-auxiliam-na-busca-por-desaparecidos-em-petropolis>>. Acesso em: 17 set 2024.

Freitas ND. Uma análise da utilização de antenas direcionais e múltiplos caminhos em redes ad hoc sem fio [dissertação]. Rio de Janeiro (RJ): Universidade Federal do Rio de Janeiro; 2008.

G1. Equipamento que localiza sinal de celular é utilizado para achar vítimas do desabamento de prédio em Fortaleza. G1. 15 out 2019. Disponível em: <https://g1.globo.com/ce/ceara/noticia/2019/10/15/equipamento-que-localiza-sinal-de-celular-e-utilizado-para-achar-vitimas-do-desabamento-de-predio-em-fortaleza.ghtml>>. Acesso em: 06 out 2024.

Hashemi H. The indoor radio propagation channel. *Proceedings of the IEEE* 1993;81(7):943-68.

IEEE. IEEE Standard for Definitions of Terms for Antennas. 1ª edição. Nova Iorque: IEEE, 2014.

International Telecommunication Union. Guidelines for national emergency telecommunication plans. 1ª edição. Geneva: ITU, 2019.

Jr AF. Como funciona o equipamento israelense que pode ajudar nas buscas no desastre de Brumadinho. UOL. 28 jan 2019. Disponível em: <https://gizmodo.uol.com.br/tecnologia-israelense-buscas-brumadinho/>. Acesso em: 02 out 2024.

Machado L, Gomes M, Alves J, Freitas F. Em 2022, mesmo depois da maior tragédia climática da história, Petrópolis gastou apenas 15% do valor autorizado em habitação. G1. 14 fev 2023. Disponível em: <https://g1.globo.com/rj/rio-de-janeiro/noticia/2023/02/14/em-2022->

mesmo-depois-da-maior-tragedia-climatica-da-historia-petropolis-gastou-apenas-15percent-do-valor-autorizado-em-habitacao.ghtml>. Acesso em: 28 fev 2024.

Mori L. Mortes por chuvas em 2022 já superam o ano passado inteiro. BBC. 2 jun 2022. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-61651974>>. Acesso em: 19 out 2023.

Piovezan U, Andriolo A. A vida selvagem e as ondas do rádio: apenas uma técnica chamada telemetria. 1ª edição. Corumbá: Embrapa, 2006.

Pristo MVJ, Dereczynski CP, Souza PR, Menezes WF. Climatologia de chuvas intensas no Município do Rio de Janeiro. Revista Brasileira de Meteorologia 2018; 4(33):615-630.

Rappaport TS. Wireless Communications: Principles and Practice. 2ª edição. New Jersey: Prentice Hall, 2002.

Rauscher C, Janssen V, Minihold R. Fundamentals of Spectrum Analysis. 6ª edição. Munique: Rohde & Schwarz GmbH & Co. KG, 2008.

Silva GEPL. Desenvolvimento de software para robô de resgate de vítimas em ambiente de desastre simulado [dissertação]. Ceará-Mirim (RN): Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte; 2018.

Stabile A, Tavares B. Entenda como funciona aparelho usado em buscas que rastreia sinal do celular de desaparecidos no Litoral Norte de SP. Globo News. 22 Fev 2023. Disponível em: <<https://g1.globo.com/sp/sao-paulo/noticia/2023/02/22/entenda-como-funciona-aparelho-usado-em-buscas-que-rastreia-sinal-do-celular-de-desaparecidos-no-litoral-norte-de-sp.ghtml>>. Acesso em: 12 out 2023.

Tutorialspoint. Antenna Theory - Fundamentals. Disponível em: [https://www.tutorialspoint.com/antenna\\_theory/antenna\\_theory\\_fundamentals.htm](https://www.tutorialspoint.com/antenna_theory/antenna_theory_fundamentals.htm). Acesso em: 1 ago 2024.

Villa GM. Analisador de espectro de baixa custo para a faixa de 2,4 GHZ [dissertação]. Porto Alegre (RS): Universidade Federal do Rio Grande do Sul; 2021.