

Lançamento de uma sonda atmosférica de baixo custo

Launch of a low-cost atmospheric probe

Phablo Araújo de Sousa¹, Karla Suélita Silva de Paula¹, Daniela Honório¹,
David Michael da Silva¹, Alessandro Martins¹, Maurício J.A. Bolzan^{*1}

¹Universidade Federal de Jataí (UFJ), Laboratório de Astronomia e Física Espacial de Jataí (LAFEJ),
Jataí, GO, Brasil.

Recebido em 16 de agosto de 2022. Revisado em 05 de setembro de 2022. Aceito em 09 de setembro de 2022.

Radiossondas, também chamadas de sondas atmosféricas, são muito utilizadas para a aquisição de diversas variáveis atmosféricas com finalidades desde previsão de tempo e, também, em segurança aeronáutica. Estas, porém, tem um custo elevado de aquisição por serem importadas. Por isso, neste trabalho será exposto o resultado de um lançamento de uma sonda desenvolvida utilizando materiais de baixo custo com resultados muito interessantes. A telemetria utilizada (comunicação via Morse e SDR) permitiu à comunicação a longa distância. Além disso, este projeto teve por objetivo fazer com que os alunos se envolvessem nas diversas etapas do projeto, desde o planejamento, construção, lançamento, recuperação e análise de dados meteorológicos obtidos. **Palavras-chaves:** Sonda, telemetria, balão, atmosfera, meio ambiente, geofísica.

Atmospheric probes are widely used for the acquisition of various atmospheric variables with purposes from weather forecasting to aeronautical safety. These, however, have a high acquisition cost because they are imported. Therefore, in this work, the result of a launching of a probe developed using low-cost materials with very interesting results will be exposed. The telemetry technology used allowed for long-distance communication in a way. In addition, this project aimed to get students involved in the various stages of the project, from planning, construction, launch, recovery and analysis of meteorological data obtained.

Keywords: Sonde, telemetry, balloon, atmosphere, environment, geophysics.

1. Introdução

Sondas atmosféricas têm por objetivo obter variáveis meteorológicas em função da altura, permitindo com isso auxiliar a previsão numérica de tempo em modelos atmosféricos. Além disso, estas também são utilizadas em aeroportos em todo o mundo visando a proteção aeronáutica contra os chamados *windshears*, ou tesouras de ar que podem ocasionar danos as aeronaves. Estes equipamentos possuem poucos elementos constitutivos em seu conteúdo, são estes: uma unidade de energia, uma unidade de rádio (telemetria) e uma unidade de aquisição de medidas atmosféricas (pressão, temperatura, velocidade do vento, umidade, basicamente). Porém, estas sondas são, em sua maioria, importadas e, por isso, seus custos de aquisição tornam-se proibitivos, principalmente em regiões mais carentes do nosso país. Por isso, este trabalho mostrará o desenvolvimento de uma sonda atmosférica de baixo custo cujos objetivos superam a parte tecnológica como o ensino de novas tecnologias da informação, eletrônica, entre outras.

No Brasil há vários autores que desenvolveram sondas atmosféricas mais acessíveis sem deixar de ser confiáveis [1]. Estes autores utilizaram um Arduino Nano [2] associado com um sensor BMP180 que realiza medidas

de temperatura e pressão [3] e, principalmente, o radiotransmissor dado pelo RF-433MHz [4]. O passo importante dado por estes pesquisadores foi transmitir os dados a longa distância usando código Morse e uma antena direcional do tipo Yagi para a recepção destes dados. Seus resultados foram muito apreciáveis tanto do ponto de vista técnico como do ponto de vista econômico do projeto. Uma metodologia similar foi empregada no auxílio de pessoas em perigo em alto mar, utilizando também a frequência de 433 MHz para transmissão. Porém, utilizaram-se tecnologias mais dispendiosas como a tecnologia ESP32 [5]. Recentemente, Silva e Lobes [6] desenvolveram uma radiossonda estratosférica, ou seja, uma radiossonda com altitudes maiores daquelas obtidas por radiossondas atmosféricas. Seus resultados preliminares demonstraram a viabilidade técnica de radiossondas de baixos custos e sua importância no ensino de estudantes em atividades multidisciplinares, ou seja, os conteúdos das disciplinas ofertadas pelo curso se complementam e se integram diante de um objetivo comum que é o presente caso. Além disso, ressalta-se aqui também o papel motivacional de um projeto como esse que, mesmo com a utilização de poucos recursos, traz aos estudantes.

O objetivo deste trabalho se baseou em quatro pilares importantes, são eles: Primeiro, o ensino de várias disciplinas necessárias a este projeto como, computação,

* Endereço de correspondência: mauricio_bolzam@ufj.edu.br

eletrônica e meio ambiente; Segundo, a construção de uma radiossonda de baixo custo que possa fornecer dados meteorológicos; Terceiro, a telemetria dos dados a longa distância; Quarto, a recuperação da radiossonda para a sua reutilização. Este último item é uma importante característica deste projeto pois as radiossondas comerciais não foram desenvolvidas para a sua reutilização. Salienta-se novamente que o desenvolvimento deste projeto também contribuiu efetivamente para o ensino e aprendizagem de estudantes.

2. Metodologia

Como o objetivo foi o desenvolvimento de uma radiossonda para a transmissão de dados meteorológicos a longo alcance, propôs-se aqui a utilização de componentes eletrônicos que tenham duas características importantes: fácil uso e custo baixo. Neste sentido foram utilizados os seguintes componentes eletrônicos: um Arduino Uno [7], um sensor DHT11 [8], um transmissor de RF 433 MHz [9], um módulo GPS e, finalmente, uma antena do tipo YAGI ligada a um *dongle* RTL-SDR. O custo total da radiossonda foi baixo, em torno de R\$ 135,00 e com dimensões físicas compatíveis com uma radiossonda encontrada no mercado. Entretanto, a radiossonda teve a sua base estrutural obtida via impressão 3D no formato de cubsat. A ideia de se utilizar a tecnologia Arduino se deve ao fato de ser fácil o aprendizado pelos estudantes e, também, muito prático. Por isso, foi construída uma PCB (*Printed Circuit Board*) de modo manual para que toda a eletrônica ocupasse o menor espaço possível, conforme é mostrada na Figura 1. A Figura 2 mostra a radiossonda no formato de cubsat.

Para obter a medida da temperatura e umidade atmosférica por altura foi utilizado o módulo DHT11,

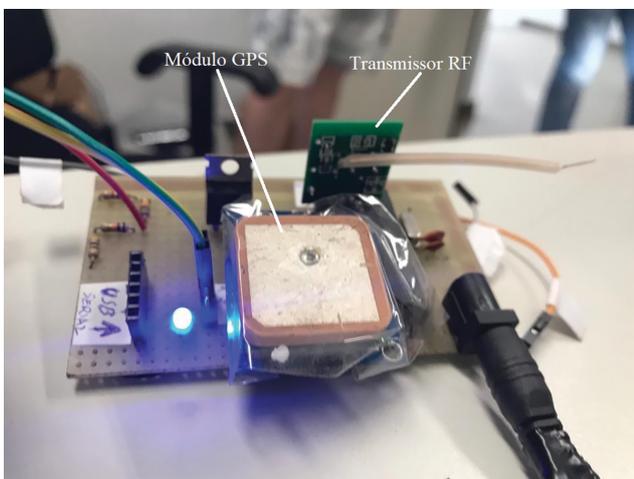


Figura 1: Placa de circuito impresso caseira para a integração de todos os sensores da radiossonda. Na figura é possível dois dos principais componentes, o módulo GPS e o Transmissor RF. **Fonte:** Dos autores.



Figura 2: Radiossonda construída no formato de cubosat fazendo teste de comunicação em RF. **Fonte:** Dos autores.

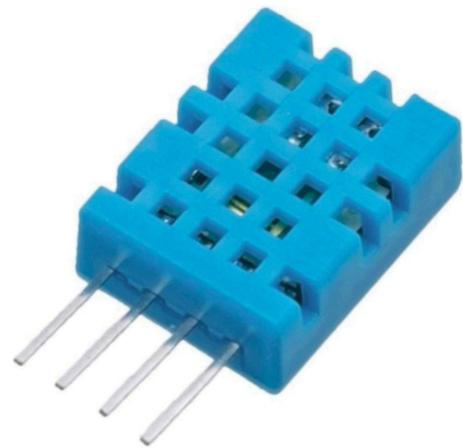


Figura 3: Módulo DHT11 de temperatura e umidade. **Fonte:** Dos autores.

conforme é mostrada na Figura 3. Este sensor é um dispositivo de baixo custo usado para medição de umidade e temperatura do ar. Para a medida de temperatura utilizou-se um termistor NTC, este termistor funciona como um resistor ôhmico sensível as variações de temperatura [4]. A medida de umidade ocorre dentro da faixa de 20 a 80% com uma precisão de $\pm 5\%$. Para a temperatura as medidas ocorrem entre 0 a 50°C. A alimentação pode ocorrer entre 3,5 V a 5,0 V com uma corrente máxima de 2,5 mA (Murta, 2019).

Para a geolocalização da radiossonda foi utilizado o módulo GPS NEO-6M como mostrado na Figura 4. Esse módulo fornece a localização exata através do enviando de dados referentes a latitude e longitude, data, hora, velocidade de deslocamento e altitude. A alimentação deste ocorre com uma tensão de 5,0V e 22,0 μ A [10], o que é muito adequado para uma bateria de 9,0 V utilizado neste projeto.

O módulo radio-transmissor utilizado foi desenvolvido para uso em portões automáticos, entre outros dispositivos, ou seja, foi elaborado para uso a curtas



Figura 4: Módulo GPS NEO-6M utilizado para a geolocalização da radiossonda. **Fonte:** Dos autores.

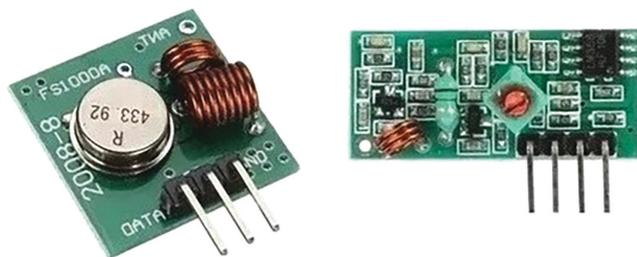


Figura 5: Módulo transmissor (esquerda) e receptor (direita) de 433MHz. No presente trabalho foi utilizado apenas o transmissor. **Fonte:** Dos autores.

distâncias de até 100 metros, podendo chegar no máximo a 120 metros, dependendo da disponibilidade de tensão maior [11]. Neste sentido, este módulo pode funcionar em uma escala apreciável de tensões, começando em 5 volts até 10 volts, dependendo do alcance que se queira obter. No presente trabalho foi utilizada a tensão de 9 volts com o objetivo justamente de obter o maior alcance possível. A Figura 5 mostra este módulo com o transmissor e o seu receptor, porém não foi necessário o uso do receptor. Entretanto, de acordo com Oliveira [1], esta distância pode ser substancialmente aumentada se for empregado o uso de código Morse. Assim, foi desenvolvido a programação em C++ (necessário para a programação no Arduino) onde as variáveis meteorológicas são lidas através do sensor DHT11, convertidas em código Morse e transmitida até o receptor em solo. Os testes de comunicação de longo alcance foram efetuados em solo com um resultado extraordinário de 5.9 km de distância em linha reta, aproximadamente. Devido ao relevo da região de teste essa foi a distância máxima encontrada, porém, como será mostrada na seção de Resultados, a distância de



Figura 6: Teste de comunicação RF em solo. Nota-se na imagem a antena YAGI utilizada neste projeto.

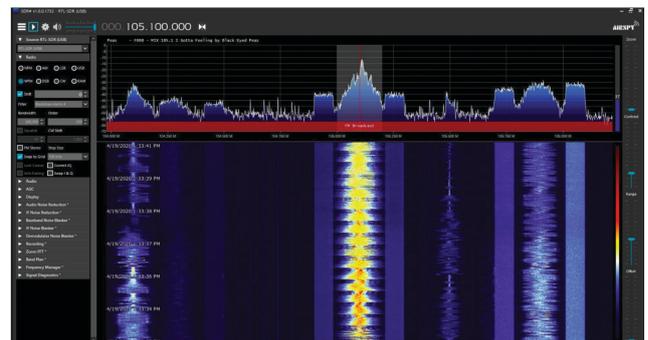


Figura 7: Teste de recepção da comunicação via SDR. Nota-se na imagem um pico de transmissão com mais energia, indicando o recebimento dos dados. **Fonte:** Dos autores.

comunicação entre a radiossonda e a recepção superou este valor. A Figura 6 mostra a antena Yagi foi conectada em um dongle RTL-SDR sendo operada por um dos autores deste trabalho.

Como mencionado anteriormente, não foi utilizado o módulo receptor do radiofrequência pois este não é capaz de receber em código Morse e decodificar o sinal. Por isso, foi utilizada a mesma abordagem de Oliveira [1], ou seja, utilizar um rádio definido por software, o SDR (do inglês *Software Defined Radio*. Neste trabalho foi utilizado o software chamado AirSpy que é muito adequado e de fácil utilização [12], a Figura 7 mostra a janela de operação do software. É com este sintonizado em frequências em torno de 433,0 MHz que a recepção dos sinais em Morse e sua imediata conversão em textos.

3. Resultados

O lançamento da radiossonda ocorreu em 15 de junho de 2022 na cidade de Jataí (LAT.: -17.8759,

LON.: -51.7214 , ALTITUDE: 708 m), estado de Goiás. A Figura 8 mostra a topografia da cidade de Jataí (GO). Para o lançamento foram utilizados seis balões de festa, numeração 50, enchidas com gás hélio de baixa pureza. A Figura 8 mostra os registros da sonda obtidos com a antena Yagi de apenas 1 metro de comprimento. Nesta imagem, com auxílio dos dados de GPS, foi possível marcar a trajetória da radiossonda sobre o campus da UFJ. O ponto de lançamento da radiossonda está acima na imagem e, a última localização está abaixo da mesma.

A Figura 9 mostra a trajetória da radiossonda obtida em 9 transmissões completas onde, após estas, houve um falha na coleta dos dados de geoposicionamento. Esta perda de dados ocorrida praticamente no final do percurso da radiossonda pode estar associada a dois fatores: a bateria que já estava muito baixa devido a demora no lançamento da sonda e, também, a radiossonda ter sido liberada pelo sistema de *release* e caído em uma região onde a transmissão de sua posição ficou comprometida. Fazendo-se uso do *Google Earth* foi possível fazer uma aferição da distância entre o ponto de lançamento e o último registro da radiossonda. De acordo com este software a distância máxima obtida neste lançamento foi de quatro quilômetros (4,0 km) em linha reta, aproximadamente, conforme é mostrada na Figura 9. Portanto, embora o valor de 4,0 km já seja um valor considerável para um módulo transmissor desenvolvido para apenas 100,0 m, estima-se que essa

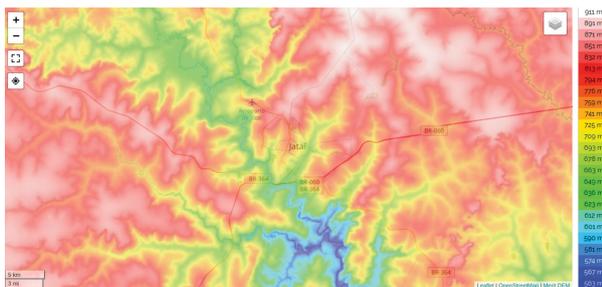


Figura 8: Mapa topográfico da cidade de Jataí (GO). Fonte: <https://pt-br.topographic-map.com/maps/gioq/Jatai>.

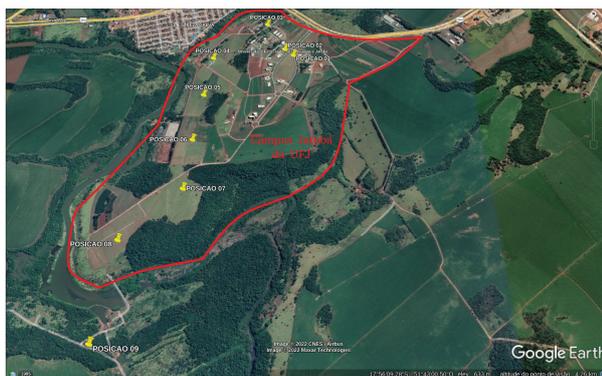


Figura 9: Trajetória da radiossonda obtidas através de GPS embarcado.

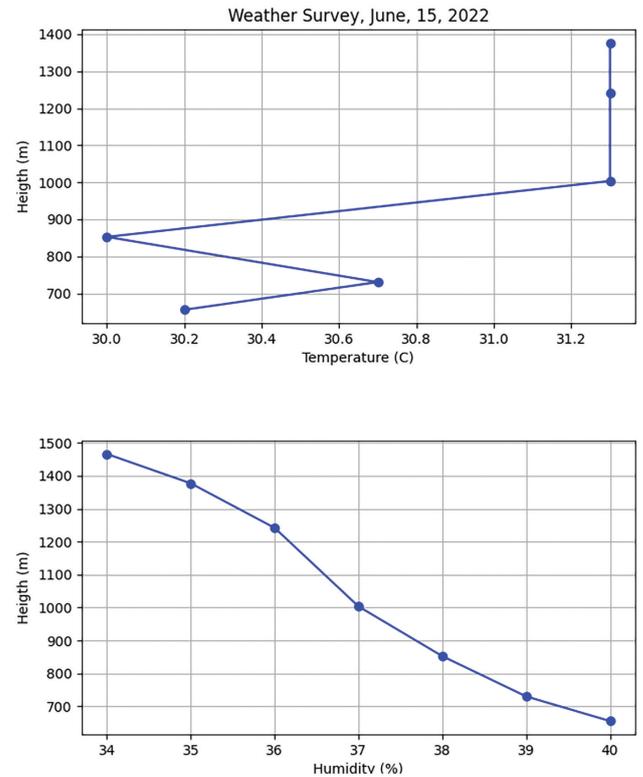


Figura 10: Perfis verticais de temperatura (gráfico superior) e de umidade relativa (gráfico inferior) obtidos pelo lançamento da radiossonda SOTHIS.

distância possa atingir valores muito superiores a este valor já que houve comprometimento da bateria devido a demora no lançamento da radiossonda.

O sucesso no rastreamento desta segunda radiossonda também se refletiu na obtenção das medidas de temperatura e umidade por altura. Embora tenha ocorrido perda de dados em alguns momentos durante a transmissão. A Figura 10 mostra dois gráficos onde o superior mostra o perfil vertical de temperatura e, o inferior mostra o perfil vertical de umidade relativa. É esperado que para ambas as variáveis meteorológicas utilizadas aqui (temperatura e umidade) seus valores decrescem com o aumento da altura. Nesse sentido a umidade relativa foi a única variável que obedeceu esta regra, conforme é claramente visível no gráfico inferior da Figura 10. É sabido que a umidade decresce com a altura de maneira enfática já que esta variável meteorológica é influenciada por vapor d'água presente na atmosfera. Sendo assim, é de se esperar que a concentração de vapor d'água esteja mais próxima do solo e decaia com a altitude.

Já a temperatura, que teve um comportamento muito errático, pode ser explicado devido a altitude alcançada (aproximadamente 2,0 km). Até essa altura processos turbulentos na camada troposférica concorrem para homogeneizar algumas variáveis meteorológicas, incluindo a temperatura. Por isso, nota-se claramente que esta grandeza meteorológica variou muito pouco, de 30.0°C à 31.3°C , ou seja, uma variação de apenas 1.3°C .

É importante mencionar que as condições meteorológicas no lançamento da radiossonda eram muito satisfatórias com céu limpo em todos os setores e velocidade do vento moderada próxima à superfície.

Um ponto que houve falha neste segundo lançamento foi a não recuperação da radiossonda, já que na última localização obtida a mesma não foi encontrada. É possível associar esta perda devido a energia baixa das baterias já mencionada, o que impossibilita a transmissão de coordenadas GPS. De qualquer forma, essa falha é importante para o desenvolvimento de um sistema de energia mais robusta para os próximos lançamentos.

4. Conclusões

O ensino, principalmente o superior, exige abordagens mais incisivas para que os estudantes possam adquirir conhecimentos amplos. Estes conhecimentos, na maioria das vezes, são de áreas distintas, o que provoca a necessidade da chamada interdisciplinaridade. Em projetos interdisciplinares, os conteúdos das disciplinas se complementam e se integram por um objetivo comum. Por outro lado, na prática multidisciplinar, cada componente curricular traz os conteúdos para dentro de um mesmo contexto, resultando em conhecimentos mais diversificados. A construção dessa radiossonda de baixo custo promoveu dois pontos importantes, são estes: o desenvolvimento técnico (software e hardware) para a aquisição de dados e; o desenvolvimento educacional nestas áreas. Sendo assim, este projeto teve um grande êxito e, também, na recepção e análise de dados atmosféricos. A impossibilidade de recuperação da radiossonda também é vista como parte importante e inerente ao processo de pesquisa e desenvolvimento tecnológico para os estudantes, mostrando a eles que sempre estarão sujeitos a falhas e que estas são uma mola propulsora na inovação tecnológica.

A conclusão foi que o resultado do projeto foi excelente, tanto do ponto de vista técnico como científico. Houve a coleta de dados tanto da telemetria como dos dados meteorológicos. As análises destes mostraram como a temperatura e, principalmente, a umidade variaram com a altura. Além disso, um projeto dessa magnitude exige a interação forte entre todos os membros da equipe.

A perspectiva futura é melhorar alguns fatores importantes, são eles: Primeiro, um sistema de energia mais robusta, com maior autonomia e mais leve (economizando volume de gás hélio); Segundo, será elaborada uma placa de circuito impresso profissional, evitando com isso possíveis falhas devido a desconexões entre fios e, também, um consumo menor de energia; Terceiro, a construção de um novo rádio transmissor mais potente e barato. Este último ponto já está em desenvolvimento em nosso laboratório cujo objetivo, além de ser mais potente e barato, é o desenvolvimento e construção de um rádio próprio. De uma forma geral, tem sido

concluída a viabilidade técnica da pesquisa o que permitirá desenvolvimento futuros, considerado os princípios básicos definidos e os resultados práticos. As sondas já produzidas e lançadas comprovam e caracterizam um modelo de prova de conceito.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Universidade Federal de Jataí (UFJ) pelo apoio logístico dado durante o lançamento e, também, a toda equipe de estudantes do Laboratório de Astronomia e Física Espacial (LAFEJ) que participaram do lançamento da radiossonda. Agradecemos também aos revisores do presente trabalho pelas sugestões que tornaram esse trabalho melhor.

Referências

- [1] F.P. Oliveira, *Montagem de uma Radiossonda de Baixo Custo*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (2016).
- [2] ARDUINO, *Arduino Nano (V2.3) – User Manual*, disponível em: <https://www.arduino.cc/en/uploads/Main/ArduinoNanoManual23.pdf>, acessado em 25/09/2021.
- [3] BOSCH SENSORTEC, *BMP180 Datasheet by SparkFun Electronics*, disponível em: <https://www.digikey.com/htmldatasheets/production/856385/0/0/1/bmp180-data-sheet.html>, acessado em 13/06/2020.
- [4] ELETROGATE, *Sensores DHT11 e DHT22: Guia Básico dos Sensores de Umidade e Temperatura*, disponível em: <https://blog.eletrogate.com/sensores-dht11-dht22/>, acessado em 04/02/2019.
- [5] D.F. Cruz, *Sistema de Detecção de Homem ao Mar*. Dissertação de Mestrado, Escola Naval, Rio de Janeiro (2019).
- [6] L.C.O. Silva, M.V. Lopes e A.K. Barros, em: *II Congresso Aeroespacial Brasileiro – CAB*, (Santa Maria, 2019).
- [7] <https://www.arduino.cc/>
- [8] MOUSER ELECTRONICS, *DHT11 Humidity & Temperature Sensor*, disponível em: <https://www.mouser.com/datasheet/2/758/DHT11-Technical-Data-Sheet-Translated-Version-1143054.pdf>, acessado em 04/02/2019.
- [9] ELETROGATE, *Guia Básico dos Módulos TX / RX – RF 433 MHz*, disponível em: <https://blog.eletrogate.com/guia-basico-dos-modulos-tx-rx-rf-433mhz/>, acessado em 11/05/2020.
- [10] ELETROGATE, *GPS Neo-6M com Arduino – Aprenda a Usar*, disponível em: <https://blog.eletrogate.com/gps-neo-6m-com-arduino-aprenda-usar/>, acessado em 24/06/2020.
- [11] A. Thomsen, *Comunicação Wireless com Módulo RF 433MHz*, disponível em: <https://www.filipeflop.com/blog/modulo-rf-transmissor-receptor-433mhz-arduino/>, acessado em 11/05/2020.
- [12] <https://airsipy.com/>