

APA-VANT: UM SISTEMA MULTI-VANT PARA O MONITORAMENTO DE ÁREA DE PROTEÇÃO AMBIENTAL

DEYVID L. LEITE*, DIEGO S. PEREIRA*[†], LUÍS B. P. NASCIMENTO*, BÁRBARA G. S. SOARES*, DANIEL H. S. FERNANDES*, MATEUS R. MORAIS*, MAURICIO R. SILVA*, KASSIO J. S. EUGENIO*, PABLO J. ALSINA*, ADELARDO A. D. MEDEIROS*

**Departamento de Engenharia de Computação e Automação - DCA
Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN
Natal, RN, Brasil*

*†Instituto Federal do Rio Grande do Norte - IFRN
Parnamirim, RN, Brasil*

Emails: deyvidlucas@hotmail.com, diego.pereira@ifrn.edu.br, lbruno@ufrn.edu.br, barbaragabriella@ufrn.edu.br, eng.danielhsfernandes@gmail.com, mateusrodrigues@ufrn.edu.br, mauricio.silva@ifpb.edu.br, kassioeugenio@gmail.com, pablo@dca.ufrn.br, adelardo@dca.ufrn.br

Abstract— This paper presents a proposal for a multi-UAV (Unmanned Aerial Vehicle) system to monitor the Environmental Protection Area (EPA). EPAs are limited regions that aim the conservation of natural resources and ecosystems. However, controlling illegal anthropogenic actions is a hard activity, so monitoring actions are necessary. In this way, the specification of a communication architecture made by UAVs network through XBee modules is presented. A computer vision system strategy are proposed in order to detect cars in dune areas where the access is restricted. A brief description is made about the initial information from the construction of the system. As results, the configuring possibility from the communication system and the behavior of communication *link* are presented. It was found that the XBee S3 module allowed a distance between communication nodes were 6 km without decrease the system performance.

Keywords— Unmanned Aerial Vehicle, Monitoring, Environmental Protection Area.

Resumo— Este trabalho apresenta uma proposta para um sistema multi-VANT (Veículo Aéreo não Tripulado) para monitoramento de área de proteção ambiental. APAs são regiões limitadas que visam a conservação dos recursos naturais e ecossistemas. Entretanto, controlar ações antrópicas ilegais é um problema, dessa forma, faz-se necessário ações de monitoramento. Para tal é apresentada a especificação de uma arquitetura de comunicação entre VANTs dentro de uma rede por meio de módulos XBee. É proposto também uma estratégia para elaboração de um sistema de visão computacional com intuito de detectar carros em áreas de dunas com acesso restrito, nesse sentido é feito uma breve descrição com informações iniciais para sua construção. Como resultados foram apresentadas as possíveis formas de configuração do sistema de comunicação e o comportamento do *link* de comunicação em diferentes modelos de propagação. Constatou-se que o módulo XBee S3 permite uma distância entre os pontos de comunicação de até 6 km sem comprometer o desempenho do sistema.

Palavras-chave— Veículos Aéreos Não Tripulados, Monitoramento, Área de Proteção Ambiental.

1 Introdução

De acordo com a Lei 9.985 de 2000, uma Unidade de Conservação (UC) da natureza é um espaço territorial com limites definidos e apresenta características naturais consideradas relevantes com objetivo de garantir a proteção e conservação dos seus recursos naturais (BRASIL, 2000).

Atualmente, o estado do Rio Grande do Norte (RN) possui 4,5% do seu território (238 mil hectares) distribuídos em oito UC estaduais, das quais 2,58% estão no ecossistema marinho, 1,08% no ecossistema costeiro, 0,8% em ecossistema de mata atlântica e o restante na caatinga (IDEMA, 2018). No RN, a responsabilidade de gerenciar as UCs pertence ao Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Meio Ambiente (IDEMA), através do Núcleo de Unidade de Conservação.

Dentre as unidades instituídas pelo Estado, destaca-se a Área de Proteção Ambiental (APA) Jenipabu, que possui 1.881 hectares,



Figura 1: Área de Proteção Ambiental de Jenipabu (IDEMA, 2018).

contemplando diversos ecossistemas e uma grande área de dunas, o Complexo Dunar de Jenipabu, região de intensa atividade turística durante todo o ano. Uma imagem da APA Jenipabu pode ser observada na Figura 1.

Ações antrópicas, tais como uso de automóveis em conjuntos de dunas e a formação de trilhas na vegetação, são problemas que devem ser verificados a todo momento. A vegetação local é responsável por assegurar que as dunas não sejam transportadas pela ação eólica, o que pode causar o desmatamento da restinga, e com isso, a dispersão das dunas. Isso compromete estradas e residências praianas, além de causar assoreamento das águas (Calvão et al., 2013).

Para minimizar os problemas citados, são necessárias ações fiscalizatórias de monitoramento em tempo real. Dentro desse contexto, é proposto um sistema multi-VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) de monitoramento capaz de identificar ações antrópicas consideradas ilegais nessas áreas. O objetivo inicial desse estudo é permitir que as aeronaves, fazendo uso de um sistema embarcado, tenham a capacidade de identificar veículos trafegando ilegalmente em áreas de dunas.

As próximas seções estão organizadas da seguinte maneira: a seção 2 apresenta um breve estado da arte sobre monitoramento do meio ambiente por meio de VANTs. Na seção seguinte são apresentados detalhes sobre a rede de comunicação de um sistema multi-VANTs e um detalhamento sobre propagação de sinal em diferentes ambientes. Na seção 4 é detalhada a arquitetura de monitoramento proposta neste trabalho. A seção 5 apresenta alguns resultados preliminares obtidos com simulações para o sistema de comunicação e, por fim, na seção 6 são feitas as considerações finais.

2 Trabalhos Relacionados

Os sistemas robóticos estão sendo cada vez mais utilizados como ferramentas fundamentais de coleta de dados, permitindo novas perspectivas e uma maior compreensão do planeta e de seus processos ambientais. É possível encontrar robôs com capacidades diversas, dentre elas: explorar partes extremamente profundas dos oceanos, rastrear proliferações de algas nocivas e propagação de poluição, monitorar variáveis climáticas e vulcões, entre outras.

Dunbabin and Marques (2012) discutem avanços significativos e aplicações com sistemas robóticos marítimos, terrestres e aéreos, desenvolvidos com a finalidade de monitoramento ambiental. Como resultado, é feito um levantamento de publicações classificadas em sistemas de pequena, média e larga escala, e as principais características de cada uma das soluções, como cooperação, sensoriamento remoto, interação entre robôs e a rede de sensores, mapeamento e localização, classificação e processamento de imagem. A partir disso, é possível eleger quais as melhores estratégias de acordo com o ambiente a ser monitorado.

Em Roldán et al. (2015) é feita a construção e validação de uma plataforma sensorial móvel para monitoramento do efeito estufa. O sistema completo trata-se de um sistema sensorial embarcado em um pequeno quadricóptero. Dentre os objetivos destaca-se realizar medição de temperatura, umidade, luminosidade e concentração de CO₂ e, a partir disso, traçar mapas dessas variáveis.

De forma semelhante, Hernández-Vega et al. (2018) fazem uso das tecnologias oriundas de Internet das Coisas (*Internet of Things*) para fazer aferições sobre a poluição do ar. O artigo apresenta um sistema de aquisição de dados, projetado e incorporado em um VANT que permite monitorar poluentes no ar. Os dados recolhidos são enviados para uma estação terrestre por radiofrequência que processa a informação e a envia para a Internet. Os resultados são disponibilizados em uma página *web* acessível para qualquer computador ou dispositivo móvel.

O problema de cobertura visual de área é tratado por Balampanis et al. (2017), o qual faz uso de decomposição e divisão de uma área em células exatas para uma região costeira com utilização de uma equipe de VANTs. É levado em consideração o campo de visão (*FOV - Field of View*) ou o raio de detecção das câmeras a bordo.

Papatheodorou et al. (2017) também contempla o problema da cobertura visual de área com uma esquadilha de aeronaves, contudo, os autores classificam os componentes do sistema como Agentes Aéreos Móveis (MAAs - *Mobile Aerial Agents*). Cada MAA é equipado com uma câmera voltada para baixo com um campo de visão cônico que cobre todos os pontos dentro de um círculo no solo. O diâmetro desse círculo é proporcional à altitude do MAA, enquanto a qualidade da área coberta diminui. Uma lei de controle distribuída é desenvolvida para maximizar o critério de qualidade de cobertura através do ajuste das coordenadas espaciais dos MAAs.

Chen et al. (2014) fez um levantamento de diversos trabalhos que fazem uso de sistemas compostos por VANTs para realizar cobertura de área. É apresentada uma tabela que classifica os trabalhos quanto ao tipo de cobertura adotada, seja estática ou dinâmica, se as aeronaves são autônomas, se o sistema é homogêneo ou heterogêneo, existência de conectividade entre os VANTS, entre outros itens importantes para o estudo e compreensão da problemática aqui apresentada.

3 Rede de Comunicação para um Sistema Multi-VANT

Um sistema multi-VANT necessita de uma rede de comunicação capaz de fornecer

robustez, adaptabilidade, eficiência de recursos, escalabilidade, cooperatividade, heterogeneidade e autoconfigurabilidade. Nesse sentido, o controle físico das aeronaves, bem como seus recursos de navegação e comunicação, precisam ser integrados (Yanmaz et al., 2018).

Uma solução viável para atender esses requisitos é a utilização de Redes *Ad hoc* Aéreas (*Flying Ad hoc Networks* - FANETs). FANET trata-se de uma rede *ad hoc* composta por aeronaves não tripuladas com capacidade de comunicação entre si e uma estação base (EB) em terra. Os VANTs que compõem a rede podem superar a velocidade de 100 m/s com movimentos em duas ou três dimensões, controlados de acordo com a missão. Com isso, é possível apresentar variações em sua topologia que podem ser lentas ou rápidas, normalmente com movimentação ordenada ou sincronizada, dependendo do objetivo (Gupta et al., 2016).

Entretanto, garantir o correto funcionamento dessa rede de comunicação é uma tarefa árdua, pois além da complexidade inerente ao gerenciamento da própria FANET, outros fatores precisam ser levados em consideração, dentre eles a propagação do sinal no ambiente.

A propagação do sinal trata de como a informação transita do transmissor para o receptor e como o sinal reage com os obstáculos nesse trajeto. Esses obstáculos fazem com que o sinal seja refletido, refratado ou difratado, causando atenuação e, dependendo da intensidade dessa reação, impossibilitando o receptor extrair a informação correta (Phillips et al., 2013).

Diante disso, pesquisadores vêm trabalhando em como prever o comportamento dessa atenuação em diversos ambientes para antever se determinado sistema de comunicação é viável, diminuindo o risco de falhas na implementação do sistema. Para tal, é feito o uso de modelos de propagação.

3.1 Modelos de Propagação

O uso de aeronaves em diferentes ambientes insere características particulares ao voo que relacionam-se com a qualidade da recepção dos dados entre os componentes do sistema. Nesse sentido, serão descritos a seguir alguns modelos de propagação adotados nesse trabalho para simular o comportamento da propagação do sinal em alguns ambientes com objetivo de garantir uma boa qualidade na taxa de transmissão e determinar o raio de atuação das aeronaves. Foram escolhidos o modelo de propagação em Espaço Livre, o modelo Okumura-Hata e um modelo probabilístico desenvolvido a partir de medições feitas na cidade de Natal/RN.

3.1.1 Espaço Livre

O modelo de propagação no Espaço Livre trata da situação na qual o transmissor e o receptor estão localizados no espaço livre sem qualquer obstrução entre eles, portanto, não há obstáculos. O decaimento do sinal está relacionado a distância entre os componentes do sistema e suas antenas (Phillips et al., 2013). Pode-se utilizar a equação de Friis (Equação 1) para determinar a potência do sinal na antena receptora:

$$P_r = P_t + G_t + G_r + \left(\frac{c}{4\pi Rf} \right) [dBm] \quad (1)$$

onde, P_r e P_t são as potências de recepção e transmissão, respectivamente, G_t e G_r são os ganhos das antenas transmissoras e receptoras, R a distância entre as antenas e f a frequência da portadora (Roh et al., 2014).

3.1.2 Okumura-Hata

O modelo de propagação de Okumura-Hata foi desenvolvido através de obras de Y. Okumura e M. Hata e baseia-se nos resultados de extensas medições em áreas urbanas e suburbanas do Japão (Medeisis and Kajackas, 2000). A perda de propagação para uma faixa de frequência da portadora de 150 MHz a 1500 MHz é dada pela Equação 2.

$$L_p = 69,55 + 26,16 \log fc - 13,82 \log h_t - \alpha(h_r) + (44,9 - 6,55 \log h_t) \log d \quad (2)$$

Onde f_c é a frequência da portadora, h_r a altura da antena receptora, h_t altura da antena transmissora, d a distância entre as antenas e α fator de correção (Hata, 1980).

3.1.3 Modelo Probabilístico

Martins (2006) apresenta o modelo probabilístico baseado em medições na cidade de Natal e consiste em acrescentar estatísticas de segunda ordem obtidas das densidades de probabilidade para a potência recebida e a altimetria medidas. A Equação 4 descreve a perda de percurso $L(dB)$, onde X_σ é a variável aleatória com distribuição lognormal e y é a perda de propagação do meio, r_o é a distância de referência e r a distância entre transmissor e receptor.

$$A = 32,44 + 20 \log(f) + 20 \log(r_o) \quad (3)$$

$$L(dB) = A + 10 \log(r/r_o)^y - X_\sigma \quad (4)$$

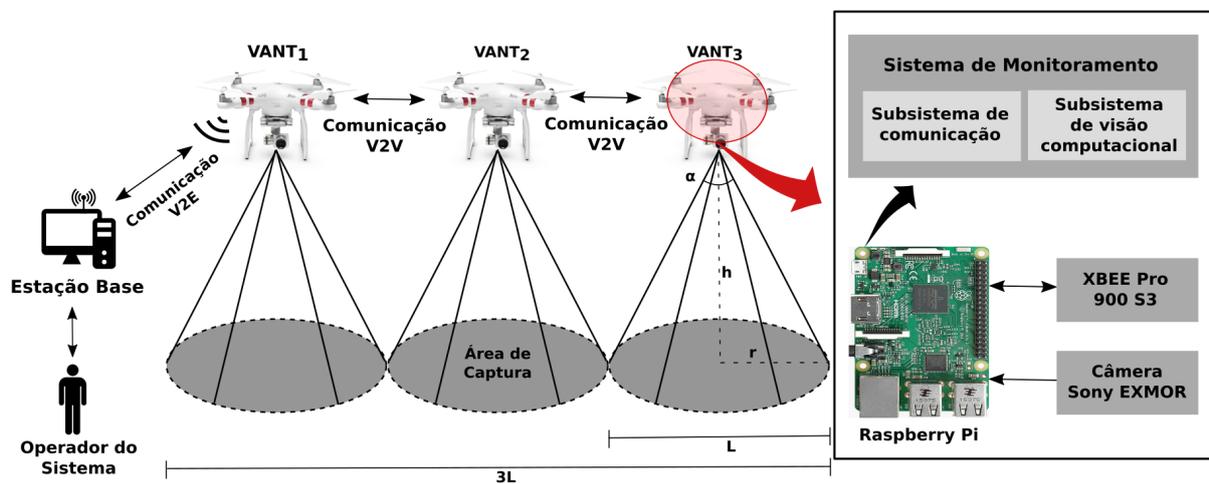


Figura 2: Arquitetura do Sistema Multi-VANT para monitoramento de área.

4 Sistema Multi-VANT para Monitoramento de Área de Proteção Ambiental

Uma aplicação para monitoramento de área de proteção ambiental é complexa e contempla diversas áreas do conhecimento e pode ter diferentes finalidades. Este trabalho, tem por objetivo realizar o monitoramento visual de uma determinada APA com a utilização de uma esquadrilha de aeronaves autônomas para detectar carros em regiões proibidas.

A APA escolhida foi a Jenipabu (APAJ), composta por dunas, vegetação e lagoas. Dentro dessa área existem regiões em que não é permitido acesso, seja por veículos ou pedestres. O objetivo é que, a partir de rondas diárias previamente programadas, os VANTs, com utilização de um sistema de visão computacional embarcado, sejam capazes detectar carros nessas regiões. Quando necessário, notificar o operador do sistema que acionará uma equipe em terra para averiguação da ocorrência.

Além da economia financeira para o órgão responsável, tendo em vista que atualmente esse patrulhamento é feito por viaturas e pela polícia montada, também há uma redução no tempo gasto para varrer a área. A inserção de sensores no ambiente para aquisição de informações através das aeronaves durante a execução da missão de monitoramento também é um ponto positivo, pois viabiliza um acompanhamento de informações ambientais importantes, tais como, temperatura do solo e da água.

4.1 Arquitetura do Sistema Multi-VANT

O sistema multi-VANT proposto (Figura 2) é constituído por aeronaves equipadas com câmeras, GPS, interfaces de comunicação, piloto automático, além de *softwares* embarcados em um

microcomputador que viabilizam o funcionamento do sistema. Cada aeronave tem uma área específica de captura que, conforme a estratégia de varredura adotada, pode variar. Neste trabalho não serão abordadas estratégias de varreduras, para tal, deve-se considerar que as aeronaves estão com uma formação na qual uma está ao lado da outra com mesma altura e velocidade de voo.

A comunicação entre os componentes do sistema é feita de duas formas, a primeira, V2V (VANT para VANT), troca de informações entre as aeronaves que compõem a rede de monitoramento, e V2E (VANT para EB), comunicação entre aeronave e a estação base em terra, esta última responsável por ser a interface para o operador do sistema.

4.2 Rede Comunicação

A rede do sistema multi-VANT proposta foi fisicamente construída com base em módulos XBee Pro S3, conectados a microcomputadores do tipo Raspberry Pi 3 com sistema operacional Raspbian Linux. Esses dispositivos serão embarcados em veículos aéreos quadricóptero, equipados com GPS e placa controladora de piloto automático. A Figura 3 apresenta um VANT quadricóptero Phantom 3 Standard, Figura 3(a), o microcomputador Raspberry Pi 3 com módulo XBee S3, Figura 3(b), e a estação base, Figura 3(c).

O sistema de comunicação da estação base em terra e o VANT faz uso de transceptores XBee/PRO-S3 com potência de 250 mW na frequência de 920 MHz. O sistema conta com antenas omnidirecional filamentosares de ganho 1,5 dBi. O uso de antenas omnidirecionais proporciona uma maior capacidade de transmissão de dados entre as aeronaves e a estação base, uma vez que, permite receber a mesma potência do sinal independente da direção



(a) VANT Phantom 3 Standard com sistema embarcado. (b) Sistema embarcado Raspberry Pi 3, módulo XBee e bateria. (c) Estação Base equipada com módulo XBee.

Figura 3: Especificação de *hardware* do sistema Multi-VANT.

do deslocamento do VANT. O sistema conta com um receptor com sensibilidade de -100 dBm permitindo um maior raio de atuação das aeronaves.

4.2.1 Link de Rádio

O VANT utilizado possui um *link* de rádio capaz de enviar as informações de telemetria e imagens a estação em terra. A EB e a aeronave utilizam o transceptor XBee-PRO S3, o transceptor é composto por um modem GFSK, um transmissor e um receptor, além de uma antena omnidirecional. O sistema de transmissão trabalha com duas configurações de taxa de transmissão e sensibilidade mínima para manter a taxa, que podem ser conferidos na Tabela 1.

Tabela 1: Formas de configuração do sistema de comunicação.

Alcance (km)	Taxa de transmissão (kb/s)	Potência mínima (dBm)
6,5	200	-101
15.5	10	-110

4.2.2 Estrutura das Mensagens

A transmissão da informação através da rede DigiMesh estabelecida pelos módulos XBee será realizada via modo API. Esse modo permite que pacotes de formato pré-definido, denominados quadros, sejam transmitidos de modo a proporcionar uma maior confiabilidade e integridade na transmissão. Por definição, esses pacotes possuem uma estrutura pré-definida com cabeçalho e área de dados, que permite, em tempo de transmissão, definir informações como endereço de destino, *payload* (área de dados) e opções adicionais, quando pertinente. Essa informação é enviada através da infraestrutura do XBee por meio de caracteres hexadecimais. Como exemplo, a cadeia de caracteres “Hello, World!” pode ser codificada conforme a Tabela 2.

A infraestrutura apresentada será utilizada para o envio das imagens codificadas. Portanto,

Tabela 2: Quadro com *payload* “Hello, world!”.

Delimitador de início	7E
Total	00 1B
Tipo	10
Identificador	00
Endereço de destino (64 bits)	00 00 00 00 00 00 FF FF
Endereço de destino (16 bits)	FF EF
Raio de <i>broadcast</i>	00
Opções	00
Dados	48 65 6C 6C 6F 2C 20 57 6F 72 6C 64 21
<i>Checksum</i>	8A

será utilizado um algoritmo de compressão e codificação das imagens para transformá-las em uma cadeia de caracteres, posteriormente, dividi-las em subcadeias de, no máximo, 256 bytes de tamanho e enviá-las através quadros XBee.

Como as imagens resultantes do processo de monitoramento possuem tamanho superior a 256 bytes, vários quadros sequenciais serão utilizados durante os processos de envio e recebimento dos dados. Cada um deles receberá um código de identificação (*ID code*) que será inserido na sua área de dados, a partir disso, cada quadro conterá 253 bytes para conteúdo e 3 bytes para o ID, o qual é composto por um número sequencial crescente de três dígitos.

4.3 Subsistema de Processamento de Imagem

Através da câmera embarcada no VANT é possível extrair informações das imagens em tempo real para detectar irregularidades no ambiente, tais como presença de pessoas, carros, desmatamentos, empreendimentos ou algum problema específico da região. Nesse sentido, faz-se necessário um algoritmo capaz de interpretar o conteúdo da imagem capturada pelo VANT em tempo real. Dessa forma, será utilizada a biblioteca OpenCV (*Open Source Computer Vision Library*) que possui uma série de técnicas para reconhecimento

de objetos em imagens. A Figura 4 ilustra a estratégia adotada para captura de imagens durante o processo de monitoramento.

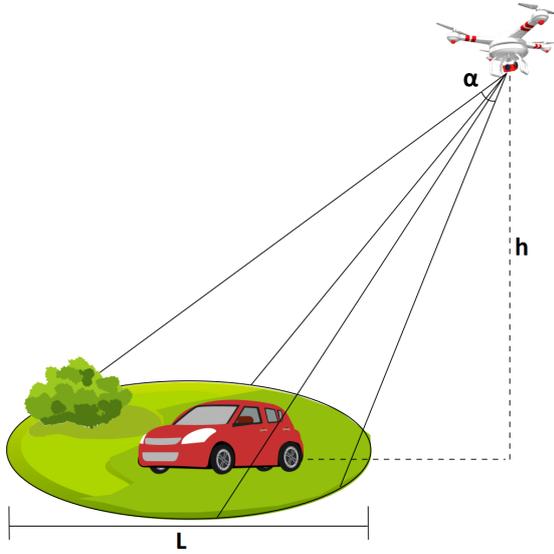


Figura 4: Estratégia de captura de imagens.

A metodologia utilizada para captura das imagens tem como base os trabalhos de Santos et al. (2015) e Silva et al. (2015) que é dada por:

$$L = 2h \tan\left(\frac{\alpha}{2}\right) \quad (5)$$

$$T \leq \frac{L}{V} \quad (6)$$

onde, na Equação 5, h é a altura da aeronave em relação ao solo, α é ângulo do campo de visão da câmera embarcada e L o diâmetro em metros da área capturada. Na Equação 6, V é a velocidade de voo do VANT e T o intervalo de tempo para captura de uma imagem. Destaca-se que dentro do intervalo calculado, quanto menor o valor de T , maior a área de interseção das imagens obtidas pela câmera, o que aumenta o grau de confiabilidade do sistema, tendo em vista que partes da área serão verificadas mais de uma vez.

Para o cenário proposto, os VANTs terão como $h = 90$ m, $\alpha = 1,64$ rad, logo a área de cobertura por aeronave é $L = 195$ m, para um sistema composto por três aeronaves tem-se $L_{total} = 3L = 585$ m, como a velocidade de voo adotada $V = 15$ m/s, o tempo é $T \leq 13$ s.

5 Resultados

Foram adotados modelos de propagação para o canal de comunicação entre os dispositivos que compõe o sistema multi-VANT. O objetivo foi verificar o comportamento do módulo XBee S3 em diversos cenários, além de investigar a disposição

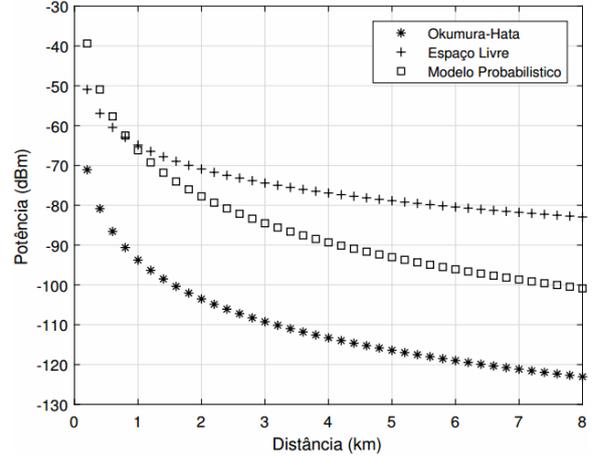


Figura 5: Simulação da perda de percurso para diferentes modelos.

das aeronaves em voo durante o processo de monitoramento.

A partir de 3 modelos de propagação: Espaço livre, Okumura-Hata e um modelo estatístico de previsão baseado na cidade de Natal (Martins, 2006), determinou-se o raio de trabalho para cada aeronave em um meio suburbano e rural semelhante a uma área de proteção ambiental.

A modelagem do sistema de comunicação utilizou como parâmetros de entrada a potência de transmissão de 250 mW, altura de voo da aeronave 90 m, altura da estação base em terra 1,5 m e ganho das antenas 1,5 dBi. Foram adotados os modelos baseados em áreas suburbana e rural. Desprezaram-se os efeitos de sombreamento, tendo em vista que as aeronaves trabalham com visada direta entre elas.

5.1 Comparação dos Modelos

Os resultados para os modelos propostos são apresentados na Figura 5. O pior caso foi para Okumura-Hata, esse modelo apresentou resultado de perda de percurso muito elevado que fica evidenciado pela curvatura acentuada.

O modelo de Espaço Livre também foi considerado inadequado por desconsiderar efeitos da reflexão do relevo e exigir que as antenas estejam totalmente alinhadas, o que para comunicação com VANTs é um fator limitante, tendo em vista que tal requisito limitaria em excesso a movimentação das aeronaves durante uma missão.

O modelo probabilístico apresentou resultados satisfatórios, tendo em vista que ele tem como base a cidade onde os voos serão executados e que o fabricante garante que o XBee S3 trabalha com até -100 dBm de potência de recepção, é possível perceber que as aeronaves podem manter uma formação com uma distância de até 7 km entre as aeronaves.

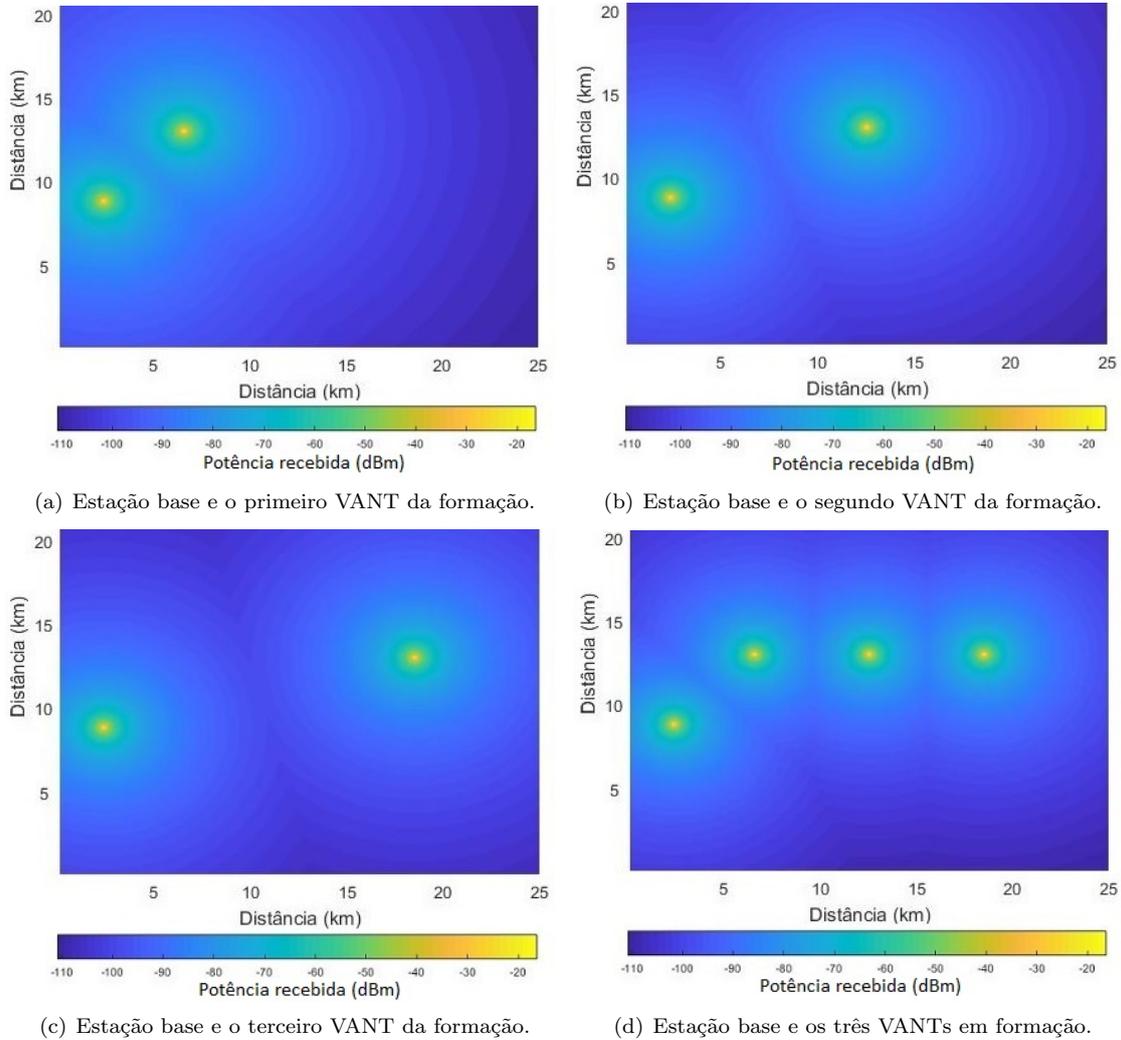


Figura 6: Simulação do sistema multi-VANT e decaimento do sinal em função da distância entre as aeronaves e a estação base.

5.2 Disposição do sistema Multi-VANT em voo

Para modelar o ambiente de uma área de proteção ambiental foi adotado o modelo probabilístico. A partir disso, definiu-se que a distância entre os componentes do sistema não deve ultrapassar 6 km, uma medida conservadora, tendo em vista que a simulação para este modelo apresentou 7 km como uma distância válida. Logo, considerando que as aeronaves voam em uma formação lado a lado, com intuito de permitir uma maior área de cobertura entre a estação base e a última aeronave, o limite entre elas é de 16,2 km, aproximadamente.

A Figura 6 retrata o decaimento da intensidade do sinal (em dBm) da interface de comunicação XBee dos VANTs e a estação base (à esquerda) em uma perspectiva *top-view*. A utilização de antenas omnidirecionais permite que o VANT transmita os sinais com a mesma intensidade independente da direção do voo. As regiões mais claras representam áreas com maior intensidade do sinal. Na Figura 6(a) observa-se

que a EB e o VANT posicionado a 6 km possuem comunicação. Já nas Figuras 6(b) e 6(c) as aeronaves estão a uma distância superior ao limiar permitido, o que inviabiliza a comunicação entre os dispositivos. Por fim, a Figura 6(d) mostra a disposição que será adotada em voo para garantir comunicação entre todos os componentes do sistema multi-VANT.

6 Considerações Finais

Este trabalho apresentou informações iniciais para criação de um sistema multi-VANT equipado com um sistema embarcado para o monitoramento de áreas de proteção ambiental. O objetivo é auxiliar os órgãos responsáveis por fiscalizar e proteger essas áreas de ações antrópicas. Como caso de estudo, foi citada a APA de Jenipabu com intuito de executar detecção de carros em área de dunas. Também é feita uma caracterização da rede de comunicação adotada pelas aeronaves, do sistema de visão computacional. Como resultados foram apresentadas as possíveis formas de configuração

do sistema e o comportamento do *link* de rádio em diferentes modelos de propagação. Constatou-se que o módulo XBee S3 permite uma distância entre os pontos de comunicação de até 6 km sem comprometer o desempenho do sistema para o modelo de propagação probabilístico, baseado em medições da cidade de Natal/RN.

Os próximos encaminhamentos do trabalho são realizar experimentos em campo para validar o funcionamento do *link* de comunicação e também aprofundar os estudos no desenvolvimento do sistema de visão computacional. Pretende-se também realizar levantamento sobre estratégias de varreduras para aeronaves com voo em formação.

Referências

- Balampanis, F., Maza, I. and Ollero, A. (2017). Coastal areas division and coverage with multiple uavs for remote sensing, *Sensors* **17**(4): 808.
- BRASIL, L. E. I. (2000). N 9.985, de 18 de julho de 2000. regulamenta o art. 225, § 1o, incisos i, ii, iii e vii da constituição federal, institui o sistema nacional de unidades de conservação da natureza e dá outras providências., Vol. 19, Brasília.
- Calvão, T., Pessoa, M. F. and Lidon, F. C. (2013). Impact of human activities on coastal vegetation—a review, *Emirates Journal of Food and Agriculture* **25**(12): 926.
- Chen, Y., Zhang, H. and Xu, M. (2014). The coverage problem in uav network: A survey, *Computing, Communication and Networking Technologies (ICCCNT), 2014 International Conference on*, IEEE, pp. 1–5.
- Dunbabin, M. and Marques, L. (2012). Robots for environmental monitoring: Significant advancements and applications, *IEEE Robotics & Automation Magazine* **19**(1): 24–39.
- Gupta, L., Jain, R. and Vaszkun, G. (2016). Survey of important issues in uav communication networks, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* **18**(2): 1123–1152.
- Hata, M. (1980). Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services, *IEEE transactions on Vehicular Technology* **29**(3): 317–325.
- Hernández-Vega, J.-I., Varela, E. R., Romero, N. H., Hernández-Santos, C., Cuevas, J. L. S. and Gorham, D. G. P. (2018). Internet of things (iot) for monitoring air pollutants with an unmanned aerial vehicle (uav) in a smart city, *Smart Technology*, Springer, pp. 108–120.
- IDEMA (2018). Disponível em: <http://www.idema.rn.gov.br>, Acesso em: 26 Mar. 2018.
- Martins, R. d. A. (2006). Modelagem e medições de ondas de rádio para predição de perda de propagação em ambientes urbanos.
- Medeisis, A. and Kajackas, A. (2000). On the use of the universal okumura-hata propagation prediction model in rural areas, *Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000. VTC 2000-Spring Tokyo. 2000 IEEE 51st*, Vol. 3, IEEE, pp. 1815–1818.
- Papatheodorou, S., Tzes, A. and Stergiopoulos, Y. (2017). Collaborative visual area coverage, *Robotics and Autonomous Systems* **92**: 126–138.
- Phillips, C., Sicker, D. and Grunwald, D. (2013). A survey of wireless path loss prediction and coverage mapping methods, *IEEE Communications Surveys & Tutorials* **15**(1): 255–270.
- Roh, W., Seol, J. Y., Park, J., Lee, B., Lee, J., Kim, Y., Cho, J., Cheun, K. and Aryanfar, F. (2014). Millimeter-wave beamforming as an enabling technology for 5g cellular communications: theoretical feasibility and prototype results, *IEEE Communications Magazine* **52**(2): 106–113.
- Roldán, J. J., Joossen, G., Sanz, D., del Cerro, J. and Barrientos, A. (2015). Mini-uav based sensory system for measuring environmental variables in greenhouses, *Sensors* **15**(2): 3334–3350.
- Santos, C., Costa, D., Junior, V., Silva, B., Leite, D., Junor, C., Liberator, B., Nogueira, M., Senna, M., Santiago, G. et al. (2015). Scanning rocket impact area with an uav: First results, *22nd ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research*, Vol. 730, p. 221.
- Silva, B. R. F., Nogueira, M. B., Santiago, G. S., Dantas, J. B. D., Albuquerque, G. L. A., Alsina, P. J. and Medeiros, A. A. D. (2015). Sistema de visão computacional para detecção de embarcações por veículo aéreo não tripulado, *XIII Simpósio Brasileiro de Automação Inteligente (SBAI)*, Vol. 22, pp. 1730–1735.
- Yanmaz, E., Yahyanejad, S., Rinner, B., Hellwagner, H. and Bettstetter, C. (2018). Drone networks: Communications, coordination, and sensing, *Ad Hoc Networks* **68**: 1–15.