

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA  
CURSO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO**

**PAULO MATEUS DE LIMA CALDAS**

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA TRANSMISSÃO DE IMAGENS A PARTIR DE UM  
VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Itacoatiara – Amazonas

2023

PAULO MATEUS DE LIMA CALDAS

**ANÁLISE DA QUALIDADE DA TRANSMISSÃO DE IMAGENS A PARTIR DE UM  
VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

ORIENTADOR: PROF. DR. FELIPE GOMES DE OLIVEIRA

Itacoatiara – Amazonas

2023

## Ficha Catalográfica

Ficha catalográfica elaborada automaticamente de acordo com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

C145a Caldas, Paulo Mateus de Lima  
Análise da qualidade da transmissão de imagens a partir de um  
veículo aéreo não tripulado / Paulo Mateus de Lima Caldas . 2023  
24 f.: il. color; 31 cm.

Orientador: Felipe Gomes de Oliveira  
TCC de Graduação (Sistemas de Informação) - Universidade  
Federal do Amazonas.

1. Drone. 2. Análise da qualidade. 3. Transmissão de imagens. 4.  
Streaming. 5. Veículo Aéreo. I. Oliveira, Felipe Gomes de. II.  
Universidade Federal do Amazonas III. Título



Ministério da Educação  
Universidade Federal do Amazonas  
Coordenação do Curso de Sistemas de Informação - ICET

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**PAULO MATEUS DE LIMA CALDAS**

### **ANÁLISE DA QUALIDADE DA TRANSMISSÃO DE IMAGENS A PARTIR DE UM VEÍCULO AÉREO NÃO TRIPULADO**

Monografia apresentada ao Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal do Amazonas como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Bacharel em Sistemas de Informação.

Aprovada em 24 de outubro de 2023

#### **BANCA EXAMINADORA**

Prof. Dr. Felipe Gomes de Oliveira  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Dr. Carlos Alberto Oliveira de Freitas  
Universidade Federal do Amazonas

Prof. Esp. Kayro Figueira Pires  
Universidade do Estado do Amazonas

Folha de Aprovação assinada pela Profa. Dra. Odette Mestrinho Passos, responsável pela disciplina ITS903 - Trabalho Final de Graduação do Curso de Sistemas de Informação (Período: 2023.1), onde atesta a defesa do aluno e a presença dos membros da banca examinadora.

---



Documento assinado eletronicamente por **Odette Mestrinho Passos, Professor do Magistério Superior**, em 06/11/2023, às 09:43, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Felipe Gomes de Oliveira, Professor do Magistério Superior**, em 06/11/2023, às 09:54, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



Documento assinado eletronicamente por **Carlos Alberto Oliveira de Freitas, Professor do Magistério Superior**, em 06/11/2023, às 10:05, conforme horário oficial de Manaus, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

---



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.ufam.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **1774947** e o código CRC **C5BAFB70**.

---

Rua Nossa Senhora do Rosário - Bairro Tiradentes nº 3836 - Telefone: (92) (92) 99318-2549  
CEP 69103-128 Itacoatiara/AM - [ccsiicet@ufam.edu.br](mailto:ccsiicet@ufam.edu.br)

---

Referência: Processo nº 23105.049182/2023-49

SEI nº 1774947

# Análise da Qualidade da Transmissão de Imagens a Partir de um Veículo Aéreo Não Tripulado

Paulo Mateus de Lima Caldas<sup>1</sup>, Felipe Gomes de Oliveira<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Ciências Exatas e Tecnologia (ICET),

Universidade Federal do Amazonas (UFAM) – Itacoatiara, AM – Brasil

paulomateus465@gmail.com, felipeoliveira@ufam.edu.br

**Resumo.** *O objetivo deste trabalho é realizar uma análise da qualidade da transmissão de imagens aéreas capturadas por um drone e enviadas em tempo real para um servidor local. Para isso, foram realizados experimentos com diferentes configurações de qualidade de transmissão, variando entre alta qualidade de imagem e alta fluidez de quadros por segundo (FPS). O drone percorreu uma distância que variou de 0 a 1000 m (metros), mantendo-se a 50 m de altura, enquanto os FPS da transmissão foram coletados e plotados em um gráfico. A análise dos resultados mostrou que há uma diferença significativa na percepção humana e na percepção computacional das imagens transmitidas. Para os humanos, é mais importante ter uma imagem com alta qualidade e contraste, que permita identificar detalhes e cores. Para sistemas envolvendo visão computacional é mais importante ter uma imagem com maior fluidez e menor contraste, mas que oportuniza processar as informações mais rapidamente e evitar atrasos na comunicação.*

## 1. Introdução

Um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) é uma aeronave que não possui nem requer piloto humano (Giyenko e Cho, 2016). A adoção generalizada de VANTs em aplicações civis será vital para a implementação de Cidades Inteligentes em todo o mundo, uma vez que fornecem a plataforma móvel necessária para múltiplos serviços (Giyenko e Cho, 2016).

Os avanços na tecnologia de baterias e na microeletrônica permitem a produção de dispositivos móveis autônomos e com um preço acessível, como os drones que têm várias utilidades (Giyenko e Cho, 2016), por exemplo: Inspeções de linhas de transmissão (Du *et al.* (2022)), aplicações militares (Utsav *et al.* (2021)), melhoria na gestão de empresas (Sharma *et al.* (2022)), serviços de emergência (Alnoman, 2022), exploração da terra e planetária (d’Arcy e Gonzalez, 2022) e agricultura inteligente (Moradi *et al.* (2022)).

A alta mobilidade e a facilidade de implantação de VANTs, combinadas com a natureza distribuída da comunicação dos veículos aéreos mencionados, permitem muitas aplicações úteis que só são possíveis com o uso de drones (Sacoto-Martins *et al.* (2020)). O uso generalizado de drones deve permitir a transmissão de vídeo (comumente conhecido como *streaming*) confiável e estável, especialmente à medida que cresce o número de sensores que coletam dados em VANTs (Wang *et al.* (2016)).

Em geral, os VANTs usam algoritmos de *streaming* de vídeo com taxa de *bits* fixa, onde os usuários configuram a resolução (4K ou 1080p) para visualizar o vídeo em uma tela

semelhante a de um *smartphone* (Wang *et al.* (2016)). Aplicações emergentes envolvendo drones, como transmissões ao vivo e jogos, exigem estratégias de comunicação em tempo real de alta definição com baixa latência e instabilidade, onde o *link* de dados de vídeo é fundamental para o sucesso da missão (Wang *et al.* (2016)).

Os requisitos de viabilidade para aplicações que envolvem o uso de drones podem variar bastante. Enquanto algumas aplicações podem demandar baixa latência e baixa variação da latência ao longo do tempo (amplamente conhecida como *jitter*), outras aplicações estão interessadas apenas em detectar objetos de interesse em imagens (Wang *et al.* (2016)). O *link* de transmissão de um drone pode ser combinado com algoritmos de visão computacional, como o YOLO (*You Only Look Once*) para implementar recursos avançados como a identificação de objetos (Kumar e Kumar, 2023).

As imagens de vídeos dos VANTs fornecem uma perspectiva aérea única que não é possível com câmeras estáticas, porém a capacidade do *link* sem fio pode variar rapidamente quando o drone se move em altas velocidades, superiores a 20 m/s (Wang *et al.* (2016)). Dessa forma, a análise da qualidade da transmissão de imagens em tempo real por veículos aéreos é de fundamental importância para a qualidade de aplicações que envolvam a utilização e processamento de imagens.

Neste trabalho é feita uma análise da estabilidade e qualidade de vídeo de um *streaming* enviado por um drone há 50 m de altura com distância variando entre 0 e 1000 m com configurações de preferência por alta qualidade de imagem e com preferência de fluidez. A partir deste trabalho espera-se investigar e apresentar os parâmetros que mais impactam na qualidade final das imagens recebidas dos veículos aéreos.

O restante do trabalho está organizado da seguinte maneira. A Seção 2 apresenta alguns conceitos básicos e discute os trabalhos relacionados. A Seção 3 detalha a metodologia utilizada. A Seção 4 apresenta o *setup* experimental, a condução do experimento e os resultados obtidos, bem como as análises qualitativas e quantitativas dos resultados obtidos. A Seção 5 apresenta as limitações, conclusão e os trabalhos futuros.

## **2. Fundamentação Teórica**

### **2.1. Conceitos Relacionados**

Para fundamentar o estudo proposto, é preciso explorar os conceitos relacionados ao trabalho. Os aspectos que serão abordados são Android, Buffer, FPS, FPV, HDR, RTMP e Streaming.

#### **2.1.1. Android**

De acordo com (Lima e Machado, 2023) o Android é um sistema operacional que permite o uso de dispositivos móveis, como *smartphones* e *tablets*. Ele é responsável por gerenciar o funcionamento do *smartphone* e oferecer uma *interface* para o usuário interagir com as funções, os aplicativos e os serviços disponíveis. Neste trabalho foi instalado um aplicativo de interação com o drone permitindo o controle do mesmo e a coleta de imagens através do referido aplicativo.

### 2.1.2. Buffer

De acordo com (Pedro, 2023) *Buffer* é uma área da memória física de um dispositivo que guarda dados temporariamente, para preservar as informações antes de serem usadas efetivamente. O *buffer* tem uma função importante, pois armazena dados provisoriamente para melhorar o desempenho do dispositivo e prover estabilidade na reprodução de vídeos em serviços de *streaming*.

### 2.1.3. FPS

De acordo com (Oliveira e Lima, 2023) FPS significa “Quadros por Segundo”, que indica a quantidade de imagens individuais que são mostradas em um segundo em um vídeo ou animação. Cada imagem corresponde a um momento específico onde a rapidez com que essas imagens são exibidas cria a sensação de movimento contínuo para o espectador. Quanto maior for o valor de FPS, mais fluida será a visualização do vídeo. Neste trabalho o FPS foi a principal medida utilizada para avaliação da qualidade da transmissão de imagens, tende em vista que quando menor for o valor do FPS menor será a qualidade de transmissão do vídeo.

### 2.1.4. FPV

De acordo com (Feyh, 2022) FPV significa *First Person View*, ou seja, visão em primeira pessoa. Quando aplicado para uso em drones, o piloto vê a imagem da câmera em tempo real, como se estivesse em uma asa delta ou outro tipo de voo livre, onde a visão é livre de obstáculos.

### 2.1.5. HDR

De acordo com (Lima, 2023) HDR é a sigla em inglês para *High Dynamic Range*, que significa “Alta Faixa Dinâmica”. Trata-se de uma tecnologia que existe em TVs, câmeras e monitores, e que foi melhorada ao longo do tempo. Ela permite uma variação automática na iluminação, brilho e contraste da imagem. Assim, o próprio aparelho se ajusta de acordo com o que está sendo mostrado, buscando a melhor qualidade visual.

### 2.1.6. RTMP

De acordo com (Duhamel, 2023) o RTMP (*Real Time Messaging Protocol*) é um protocolo de comunicação que permite a transmissão de vídeo através do protocolo TCP (*Transmission Control Protocol*). O protocolo TCP é uma tecnologia que garante a entrega dos dados com alta confiabilidade. O RTMP oferece uma transmissão de baixa latência, o que é muito útil para os meios de comunicação que transmitem eventos em tempo real. Ele também tem um *buffering*



mínimo, o que melhora a qualidade da experiência do usuário. O *streaming* RTMP é uma das melhores opções para fornecer conteúdo de *streaming* sem atrasos e interrupções. Neste trabalho o protocolo RTMP foi utilizado para estabelecer a comunicação e transmissão de imagens entre o controle remoto do drone e o servidor de mídia e entre o servidor de mídia e os clientes conectados para a exibição e armazenamento externos das imagens.

### **2.1.7. Streaming**

De acordo com (Edwards e Ventura, 2023) *Streaming* é o modo de ver e ouvir conteúdo, como som, imagem ou jogos em tempo real. Ou seja, você pode escolher o que quer consumir sem precisar baixar antes no seu dispositivo, consumindo o conteúdo direto de um servidor remoto.

## **2.2. Trabalhos relacionados**

### **2.2.1. Multi-purpose Low Latency Streaming Using Unmanned Aerial Vehicles**

Os autores (Sacoto-Martins *et al.* (2020)) exploram a ideia de um drone enviar imagens para um servidor ou para usuários que podem visualizá-las. Essas imagens podem ter várias aplicações em tempo real, como vigilância ou transmissão de eventos. O artigo também sugere o uso de algoritmos de visão computacional. O artigo descreve um sistema com  $N$  drones que se comunicam com uma plataforma *back-end*, que autentica cada drone e cria uma conexão com um servidor *media gateway* que suporta  $N$  clientes. Os clientes podem acessar o *site* do sistema, controlar o drone e ver as imagens. O *back-end* também permite executar algoritmos de visão computacional para evitar colisões, identificar objetos e mapear o ambiente com o menor atraso possível.

### **2.2.2. SkyEyes Adaptive Video Streaming from UAVs**

Segundo os autores (Wang *et al.* (2016)), drones populares estão equipados com câmeras de alta qualidade, mas sofrem com a perda de qualidade na transmissão de imagem ao vivo, pois usam taxas de transmissão fixas que não se adaptam aos diferentes cenários. Para resolver esse problema, é preciso usar um algoritmo de *streaming* de vídeo adaptativo, como o proposto neste artigo. Os autores criaram um sistema que ajusta a compressão e a taxa de vídeo de acordo com o conteúdo da imagem e os dados dos sensores de localização e do *buffer* do cliente. Os autores afirmam que o *streaming* de vídeo adaptativo é essencial para aplicações de drones em tempo real.

### **2.2.3. Qoe-Aware UAV Flight Path Design for Mobile Video Streaming in HetNet**

Neste artigo, os autores (Colonnese *et al.* (2018)) propõe o uso de drones como estações base

móveis que se adaptam ao cenário usando o algoritmo *Q-learning* para planejar seus voos. O objetivo é melhorar a experiência dos usuários que se conectam a redes heterogêneas (*HetNet*). Os resultados mostram que o algoritmo de planejamento de voo aumenta o desempenho da qualidade de experiência (QoE) dos usuários.

#### **2.2.4. QoE Assessment of FPV Drone Control in a Cloud Gaming Based Simulation**

De acordo com os autores (Silic *et al.* (2021)), a pilotagem de drones com visão em primeira pessoa (FPV) é uma atividade que ganha cada vez mais adeptos, mas que exige uma transmissão rápida e confiável de dados de controle e vídeo. Para que o piloto possa controlar o drone em tempo real, é preciso reduzir ao mínimo as latências na comunicação. O artigo apresenta uma pesquisa sobre a transmissão digital de imagens de drones, em contraste com a transmissão analógica mais comum. Os autores mediram a qualidade de experiência (QoE) dos usuários que pilotaram drones com visão em primeira pessoa usando um simulador de voo na nuvem. Os resultados mostraram que a forma como o vídeo é codificado afeta muito a QoE dos usuários.

#### **2.2.5. Intelligent UAV in Smart Cities using IoT**

Os autores (Giyenko e Cho, 2016) abordam as vantagens do uso de drones para diferentes aplicações, como a agricultura, onde os drones podem pulverizar fertilizantes e produtos químicos nas plantações com mais eficiência e menor custo do que os aviões ou outras técnicas similares. Outra aplicação é a vigilância, onde os drones podem aumentar a segurança e reduzir os custos relacionados ao combate ao crime, pois as câmeras dos drones são móveis e podem evitar pontos cegos. Os autores afirmam que as plataformas de vigilância com drones são mais eficazes quanto maior for o raio de monitoramento. Os autores concluem que os drones em aplicações civis oferecem uma plataforma móvel necessária para vários serviços.

#### **2.2.6. Comparativo dos trabalhos relacionados**

A Tabela 1 compõe uma análise comparativa dos trabalhos relacionados, evidenciando o conteúdo descrito em cada artigo.

Tabela 1. Tabela comparativa dos trabalhos relacionados

Trabalho	Servidor	Streaming	Teórico	Prático
Multi-purpose Low Latency Streaming Using Unmanned Aerial Vehicles (Sacoto-Martins <i>et al.</i> (2020)).	X	X	X	X
SkyEyes Adaptive Video Streaming from UAVs (Wang <i>et al.</i> (2016)).	X	X	X	X
Qoe-Aware UAV Flight Path Design for Mobile Video Streaming in HetNet (Colonnese <i>et al.</i> (2018)).	X	X	X	
QoE Assessment of FPV Drone Control in a Cloud Gaming Based Simulation (Silic <i>et al.</i> (2021)).	X	X	X	
Intelligent UAV in Smart Cities using IoT (Giyenko e Cho, 2016).	X	X	X	
Análise da Qualidade da Transmissão de Imagens a Partir de um Veículo Aéreo Não Tripulado (Autor, 2023).	X	X	X	X

### 3. Metodologia Experimental

Metodologia experimental é uma abordagem de pesquisa que envolve planejar um experimento, executá-lo e quantificar os resultados (Lewin e Somekh, 2017). O método experimental envolve expor os objetos de estudo a determinadas variáveis, sob circunstâncias controladas e conhecidas pelo investigador, para verificar os efeitos que a variável causa no objeto (Gil, 2019). O método experimental é a fundamentação do avanço do conhecimento nas áreas científicas, pois ele é a obtenção dos dados, de modo a gerar respostas nítidas e distintas em função de uma hipótese que implica relações de causa e efeito (Fachin, 2017).

Nesta seção é proposto um conjunto de etapas para a análise da qualidade da transmissão de imagens a partir de um veículo aéreo não tripulado. As etapas que compõem a metodologia são: *i)* Levantamento bibliográfico; *ii)* Análise do processo experimental; e *iii)* Análise dos resultados.

#### 3.1. Levantamento bibliográfico

##### 3.1.1. Fontes

Nesta pesquisa, optou-se por utilizar uma variedade de locais de busca que abrangem diferentes tipos de fontes de informação. Entre esses locais, estão incluídas as bibliotecas digitais ACM Digital Library, Google Acadêmico, IEEE e Scopus, que disponibilizam artigos científicos, monografias e dissertações de diversas áreas do conhecimento. Além disso, também foram consultados *sites* especializados na área de interesse da pesquisa, tais como *Blogs* e *sites* corporativos que são reconhecidos como referência no tema abordado. Por fim, também foram considerados trabalhos acadêmicos, como artigos científicos, monografias, dissertações

e teses, que tratam de assuntos relacionados à pesquisa. A busca manual foi realizada em cada um desses locais.

### 3.1.2. Idioma e expressão de busca

A pesquisa foi realizada nos idiomas Inglês e Português. O Inglês foi escolhido por ser o idioma mais utilizado nas publicações científicas da área de pesquisa. O Português foi escolhido para abranger trabalhos técnicos e conteúdos de *Blogs* e *sites* especializados publicados nesse idioma. Para realizar a pesquisa, foram utilizados os seguintes termos chaves de indexação: Vant, UAV, Drone, QoE, Streaming, Video Streaming from UAVs, UAV Smart Cities, UAV QoE. A busca foi limitada aos artigos publicados entre 2016 e 2023. Para cada termo chave, foram analisados os títulos dos 50 primeiros artigos e selecionados aqueles que tinham uma proposta semelhante a este trabalho. Em seguida, foram lidos os resumos desses artigos e escolhidos os mais relevantes para uma leitura completa. Após a leitura completa, foram selecionados 5 principais artigos que compõem os trabalhos relacionados.

### 3.2. Análise do processo experimental

Para realizar um experimento, é necessário alterar de forma proposital uma ou mais variáveis que sejam independentes, ou seja, que representem a possível causa de uma relação entre variáveis. A variável independente é a condição que antecede o fenômeno estudado, enquanto a variável dependente é o efeito resultante dessa causa (Sampieri *et al.* (2013)).

A segunda condição necessária é avaliar a influência da variável independente sobre a variável dependente. Esse aspecto é igualmente relevante, e, assim como na variável dependente, se o efeito for observável, a mensuração deve ser válida e confiável (Sampieri *et al.* (2013)). O controle da situação experimental é a terceira condição que um experimento deve cumprir para ser válido (Sampieri *et al.* (2013)).

Neste trabalho, as variáveis dependentes são a qualidade de imagem e a fluidez de imagem, que são parâmetros que podem ser definidos durante a navegação do veículo aéreo não tripulado. Enquanto que as variáveis independentes são a distância entre o drone e o controle e o contraste de imagem.

A Tabela 2 demonstra o efeito da variável independente na variável dependente.

**Tabela 2. Variáveis independentes e o resultado sobre as variáveis dependentes**

Variáveis		
Dependente	x	Independente
Qualidade de imagem	x	Menor distância entre o drone e o controle
Qualidade de imagem	x	Maior contraste de imagem
Fluidez de imagem	x	Maior distância entre o drone e o controle
Fluidez de imagem	x	Menor contraste de imagem

### 3.3. Análise dos resultados

Este trabalho apresenta uma análise que combina os aspectos qualitativos e quantitativos da pesquisa. Segundo (Gerhardt e Silveira, 2009), os métodos qualitativos buscam compreender o sentido das coisas, expressando o que é adequado fazer, sem medir os valores e as trocas simbólicas nem testar os fatos, pois eles trabalham com dados não numéricos (provocados e de interação) e utilizam diferentes abordagens. Por outro lado, (Fonseca, 2002) afirma que a pesquisa quantitativa se baseia na quantificação dos resultados. Como as amostras costumam ser grandes e representativas da população, os resultados são considerados como um retrato real da realidade. Influenciada pelo positivismo, essa pesquisa analisa os dados brutos para compreender a realidade.

Neste trabalho realizou-se uma avaliação quantitativa e qualitativa dos dados de FPS e da qualidade de imagem em duas modalidades de transmissão com um drone: uma com prioridade na qualidade de imagem e outra com prioridade de fluidez de imagem. A avaliação quantitativa mediu e comparou os valores de FPS em função da distância do drone, enquanto a avaliação qualitativa ressaltou a diferença na nitidez da imagem entre as duas modalidades de transmissão.

## 4. Experimentos

### 4.1. Setup experimental

#### 4.1.1. Drone



**Figura 1. Drone FIMI X8SE 2022 v2 utilizado neste trabalho**

Neste trabalho foi usado um drone, que tem quatro hélices e uma câmera de 48MP que grava em 4k HDR. O drone tem uma bateria de 4500 mAh que permite voar por até 35 minutos. O drone pesa 768g com a bateria. A Figura 1 mostra o drone.

O drone possui uma câmera 4K com um sensor Sony de 1/2" e 48MP, que pode capturar imagens de alta qualidade e detalhes. A câmera também tem uma abertura de f/1.6, que permite uma melhor entrada de luz e redução de ruído em ambientes escuros, o drone tem um gimbal mecânico de 3 eixos, que estabiliza a câmera e elimina as vibrações durante o voo. O gimbal também tem um algoritmo de estabilização de terceira geração, que melhora a suavidade e a precisão dos movimentos (Fimi, 2022). Na Tabela 3 são apresentadas às especificações principais do drone.

**Tabela 3. Especificações do Drone FIMI X8SE 2022 v2 utilizado neste trabalho**

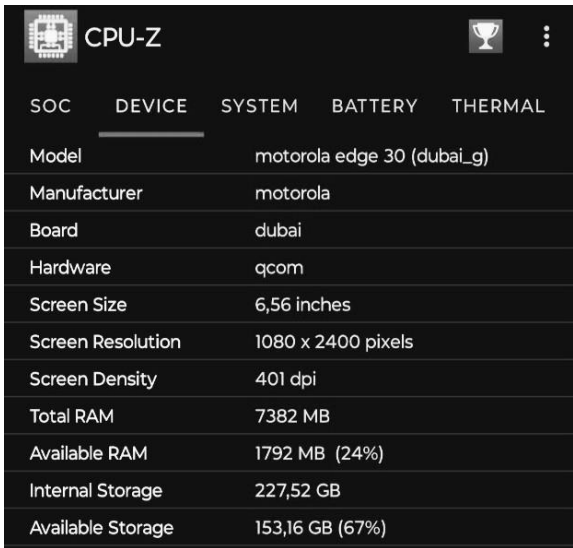
Parâmetros	Valor
Frequência	2.4 GHz
Altitude Máxima	800m
Velocidade Máxima	18 m/s
Autonomia em voo	35 Minutos
Peso	768g
Câmera	4k HDR
Bateria	4500 mAh

#### 4.1.2. Controle Remoto

O controle remoto recebe o *link* de transmissão do drone na frequência de 2.4 GHz e o repassa para um aplicativo proprietário instalado em um dispositivo Android. O aplicativo decodifica os dados e a imagem, a imagem é retransmitida via protocolo RTMP para um servidor de mídia instalado em um *laptop*. O *laptop* e o dispositivo Android se comunicam através da tecnologia *WiFi* na frequência de 5GHz, conforme ilustrado na Figura 9. O controle remoto tem um sistema de comunicação proprietário *RokLink* de terceira geração, que oferece um alcance de até 10 km entre o drone e o controle remoto que faz uso da tecnologia de codificação adaptativa, que melhora a qualidade e a estabilidade da transmissão de imagem em tempo real (Fimi, 2022).

#### 4.1.3. Smartphone

O *smartphone* utilizado neste trabalho é um dispositivo Android modelo Motorola Edge 30 com processador Snapdragon 778G+ 5G com 8GB de memória RAM, tela AMOLED de 6,5 polegadas com resolução de 1080 x 2400 pixels, taxa de atualização de 144 Hz com o sistema operacional em sua última versão disponível (Android 13 com atualizações de segurança datadas de 1 de agosto de 2023), como pode ser observado na Figura 2 e 3.



CPU-Z				
SOC	DEVICE	SYSTEM	BATTERY	THERMAL
Model	motorola edge 30 (dubai_g)			
Manufacturer	motorola			
Board	dubai			
Hardware	qcom			
Screen Size	6,56 inches			
Screen Resolution	1080 x 2400 pixels			
Screen Density	401 dpi			
Total RAM	7382 MB			
Available RAM	1792 MB (24%)			
Internal Storage	227,52 GB			
Available Storage	153,16 GB (67%)			

**Figura 2. Especificações do hardware do smartphone utilizado neste trabalho**



SOC	DEVICE	SYSTEM	BATTERY	THERMAL
Android Version		13		
API Level		33		
Security Patch Level		2023-08-01		
Bootloader		MBM-3.0-dubai_g-1efa3bc7d46-23081		
Build ID		TIRD33.116-33-12		
Java VM		ART 2.1.0		
OpenGL ES		3.2		
Kernel Architecture		aarch64		
Kernel Version		5.4.210-moto-00342-g5ed9c48f327e(d501e0-7757c)		
Root Access		No		
Google Play Services		23.37.17 (190400-570218080)		
System Uptime		3 days, 13:24:10		

Figura 3. Versão do sistema operacional do smartphone utilizado neste trabalho

#### 4.1.4. Aplicativo

Para o uso do drone, foi empregado o aplicativo FIMI NAV 2020 V1.0.23, lançado em 9 de novembro de 2021. As versões posteriores desse aplicativo apresentaram problemas na função de transmissão via protocolo RTMP, mesmo com a opção disponível. A Tabela 4 mostra as versões do aplicativo testadas, suas respectivas datas de lançamento e os resultados obtidos na realização da atividade.

#### 4.1.5. Servidor de mídia

O servidor de mídia utilizado foi o Mona Server V2.723, em execução no Windows 11, conforme Figura 4. Mona Server é um servidor de comunicação de mídia de código aberto para transmissão ao vivo e sob demanda, Mona Server roda em Windows ou Linux e suporta protocolos como RTMFP, RTMP/RTMPE, WebSocket e HTTP. Ele permite a transmissão de áudio e vídeo em tempo real via RTMP, protocolo de transmissão usado por plataformas como *YouTube* e *Twitch*.

```
Application.cpp[134] MonaServer v2.723
Application.cpp[136] Load configuration file MonaServer.ini
Protocols.h[82] RTMFP server started on 0.0.0.0:1935
Protocols.h[82] RTMP server started on 0.0.0.0:1935
Protocols.h[82] RTMPS server started on 0.0.0.0:8443
Protocols.h[82] HTTP server started on 0.0.0.0:80
Protocols.h[82] WS server started on 0.0.0.0:80
Protocols.h[82] HTTPS server started on 0.0.0.0:443
Protocols.h[82] WSS server started on 0.0.0.0:443
Protocols.h[82] SRT server started on 0.0.0.0:9710
```

Figura 4. Servidor de mídia Mona Server V2 utilizado neste trabalho

Tabela 4. Versões testadas de cada aplicativo

Versão	Data	Resultado
1.0.38.20305	21/08/2023	Conectando, sem sucesso
1.0.34.20305	25/08/2022	Conectando, sem sucesso
1.0.33.20301	16/08/2022	Conectando, sem sucesso
1.0.32.20303	02/06/2022	Aplicativo não inicia
1.0.30.20305	05/05/2022	Aplicativo não inicia
1.0.29.20302	27/01/2022	Aplicativo não inicia
1.0.25	11/12/2021	Aplicativo não inicia
1.0.24	25/11/2021	Aplicativo não inicia
<b>1.0.23</b>	<b>09/11/2021</b>	<b>SUCESSO</b>
1.0.6	12/06/2020	Não compatível com o drone

#### 4.1.6. Laptop

Para os experimentos foi utilizado o *laptop* Lenovo ideapad Gaming 3i i5-10300H, que possui o sistema operacional Windows 11 PRO Original atualizado, uma placa de vídeo NVIDIA GeForce GTX 1650, um processador Intel Core i5 de décima geração modelo 10300H, 32GB de Memória RAM e 512GB de Armazenamento NVMe conforme Figura 5. Adicionalmente, foi instalado o software Mona Server e VLC em suas configurações padrão.

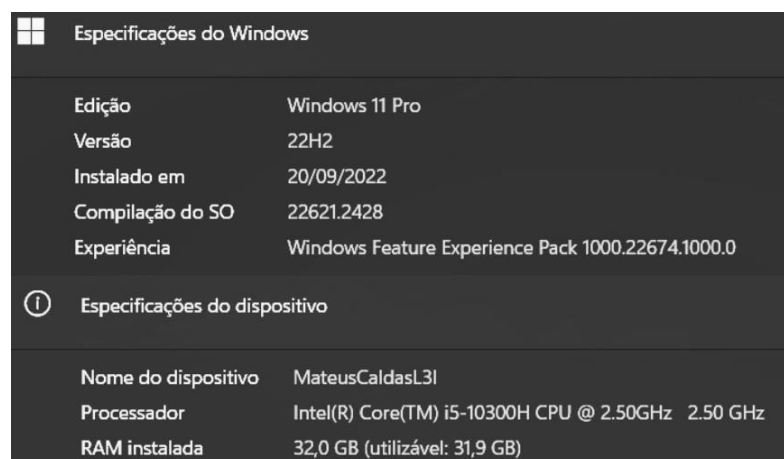
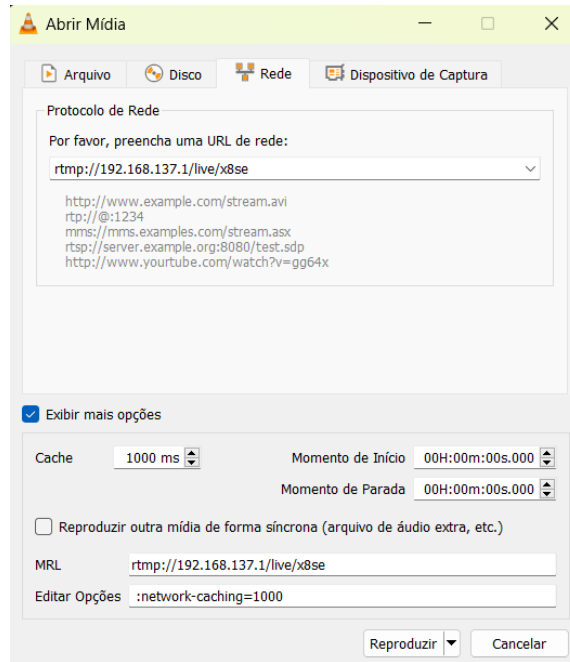


Figura 5. Configurações do laptop usado neste trabalho

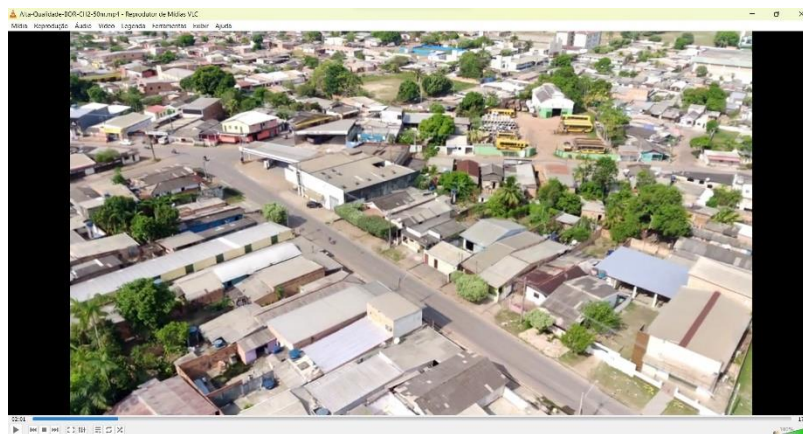
#### 4.1.7. Reprodutor de mídia

Para visualizar o *streaming* ao vivo do drone, foi utilizado o VLC, que é um reprodutor de vídeo gratuito e de código aberto configurado como cliente de *Streaming* RTMP. No VLC, foi selecionada a opção de mídia, abrir transmissão de rede e inserida a URL de transmissão correta para se conectar ao Mona Server, que é o servidor de mídia instalado no *laptop*, conforme mostra a Figura 6. A Figura 7 apresenta a transmissão com configuração de alta qualidade, e a Figura 8 apresenta a transmissão com configuração de fluidez de imagem.

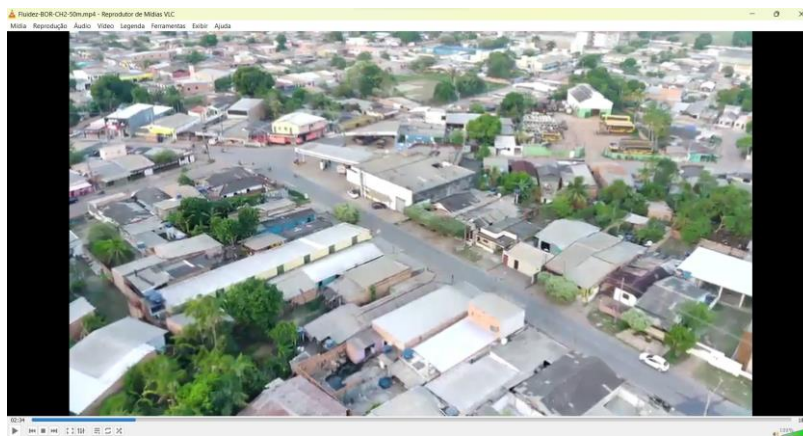




**Figura 6. VLC configurado como cliente de streaming RTMP**



**Figura 7. VLC reproduzindo o streaming em alta qualidade de imagem**



**Figura 8. VLC reproduzindo o streaming em fluidez de imagem**

#### 4.1.8. Arquitetura de transmissão de imagens

Este trabalho apresenta uma arquitetura para transmissão de imagens em tempo real usando um drone, um controle remoto, um *smartphone* e um *laptop*. O drone transmite as imagens capturadas para o controle remoto via rádio na frequência de 2.4GHz. O controle se conecta ao *smartphone* através de um cabo USB que permite a comunicação do controle com o aplicativo do drone instalado no *smartphone*. No *smartphone* é criada uma rede *WiFi* na frequência de 5GHz que tem o *laptop* como cliente. No *laptop* está instalado um servidor de mídia que recebe e retransmite as imagens para os clientes através do protocolo RTMP. Um exemplo de cliente RTMP é o VLC, que pode reproduzir a transmissão no próprio *laptop*. A arquitetura proposta é ilustrada na Figura 9.



Figura 9. Arquitetura de transmissão de imagens

#### 4.2. Ambiente Experimental

Os experimentos de voo foram efetuados na zona urbana da cidade de Itacoatiara, situada no estado do Amazonas, Brasil. O operador do drone manteve-se no mesmo local e com a mesma posição do controle em ambos os ensaios. A decolagem do drone foi realizada de pontos ligeiramente distintos, pois o local da primeira decolagem estava obstruído por um veículo particular. Contudo, isso não influenciou os resultados, pois os ensaios seguiram trajetórias pré definidas. Durante os ensaios, o drone sobrevoou diversas casas que poderiam possuir dispositivos de comunicação operando na faixa de frequência 2.4 GHz gerando interferências nos ensaios. Para contornar esse problema, foi selecionado um canal fixo para a comunicação com o drone, utilizando o aplicativo do próprio drone. Dessa forma, foi identificado que o canal com menor interferência no local de decolagem foi o CH2, sendo esse utilizado nos dois ensaios.

#### 4.3. Condução do experimento

Os experimentos realizados neste trabalho compreendem voos a 50 m de altura. Com isso, foi avaliada a qualidade da transmissão de imagem em tempo real em diferentes distâncias, de 0 m a 1000 m, com intervalos de 100 m. Para os experimentos foram necessários dois voos devido a autonomia da bateria do drone, alcançando uma autonomia de aproximadamente 20 minutos por voo. Cada voo teve uma configuração de qualidade de transmissão de imagem diferente, conforme mostrado na Tabela 5. É importante mencionar, que entre os voos houve um intervalo de quatro horas para recarregar a bateria e os voos ocorreram no mesmo dia, sobre as mesmas condições climáticas.

**Tabela 5. Tabela de configuração dos voos**

Voo	Frequência	Canal	Transmissão
01	2.4 GHz	2	Alta Qualidade
02	2.4 GHz	2	Fluidez de Imagem

O primeiro voo teve como prioridade a qualidade de imagem. O canal foi definido manualmente para o canal 2, conforme mostrado na Figura 10 e Tabela 5. A escolha manual do canal foi realizada no intuito de manter as mesmas condições nos dois voos. O drone sobrevoou o ambiente experimental a uma velocidade máxima de 5 m por segundo até a distância máxima de 1000 m. O drone foi configurado para retornar ao ponto de partida em caso de perda dos dados de telemetria, o que permitiu conduzir o experimento até os 1000 m de distância, mesmo sem a transmissão de imagens. O segundo voo teve as mesmas configurações do primeiro voo, exceto pela qualidade da imagem, que foi ajustada para ter mais fluidez, conforme apresentado na Figura 11 e Tabela 5.



**Figura 10. Configuração da prioridade de qualidade e canal manual 2**



**Figura 11. Configuração da prioridade de fluidez e canal manual 2**

#### 4.4. Análise qualitativa e quantitativa

##### 4.4.1. Análise Quantitativa

De acordo com (Sacoto-Martins *et al.* (2020)) uma métrica útil da confiabilidade dos fluxos é o número de quadros decodificados por segundo (*Frame Per Second* - FPS), por esse motivo a análise de FPS durante a transmissão de imagens por drones é de grande relevância. O desempenho da transmissão em alta qualidade é apresentado no gráfico da Figura 12, que indica o FPS mínimo, médio e máximo a cada 100 m. O gráfico mostra que a transmissão foi estável, exceto entre 700 e 800 m, quando foi interrompida. A Figura 13 mostra o ponto inicial e final da transmissão com foco na alta qualidade de imagem.

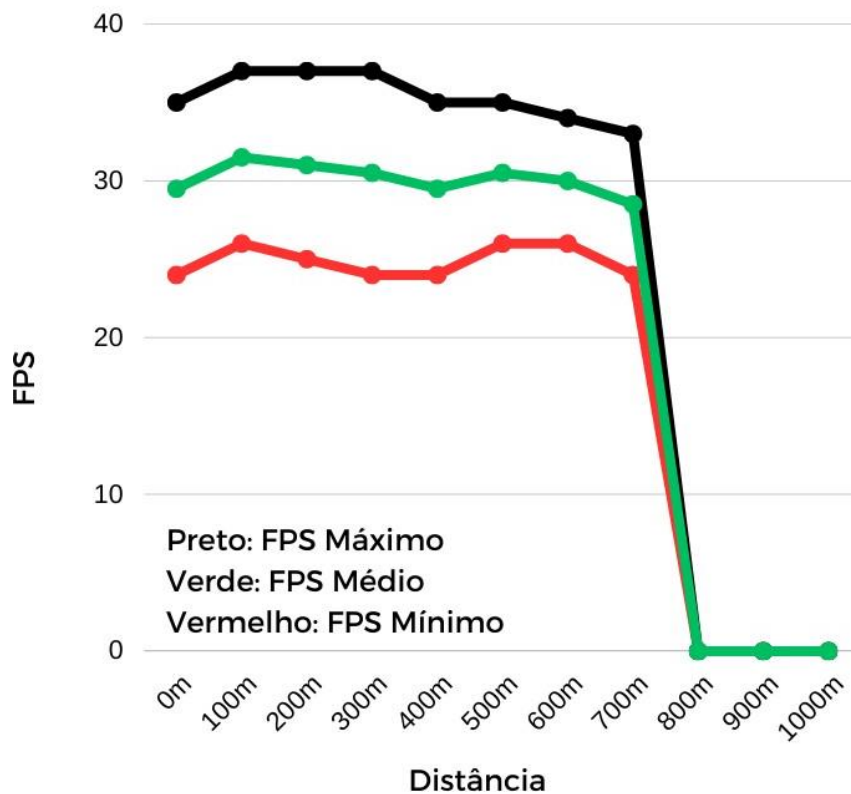
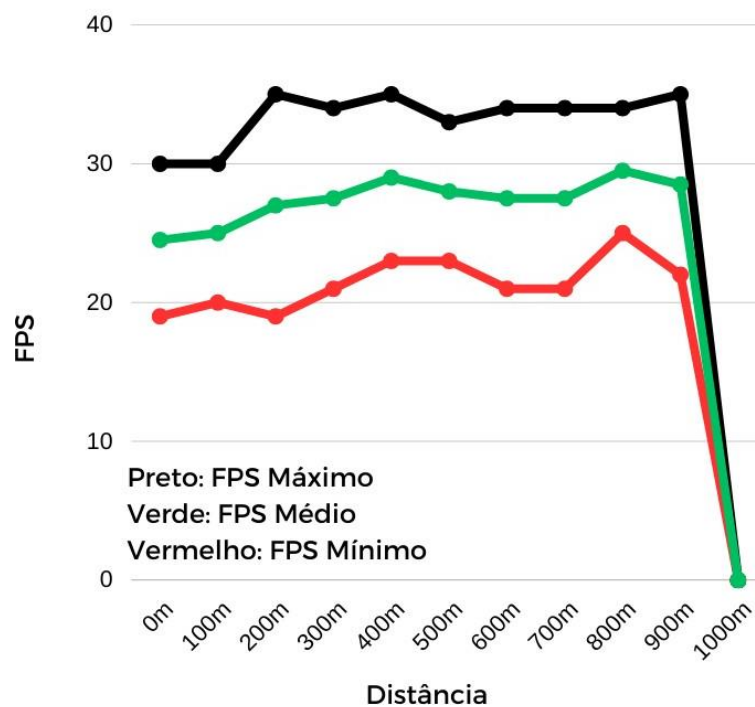


Figura 12. Gráfico FPS x Distância em alta qualidade de imagem



**Figura 13. Alcance de transmissão em alta qualidade**

No gráfico da Figura 14, são exibidos os dados de transmissão com fluidez de imagem em FPS mínimo, médio e máximo, com base nos dados coletados a cada 100 m. A partir da análise do gráfico da Figura 14, foi possível perceber que a média de FPS se manteve estável durante a transmissão de imagens. O gráfico também indica que a transmissão de imagem foi perdida por volta de 900 m. A Figura 15 mostra o ponto inicial e final da transmissão com foco na fluidez de imagem.

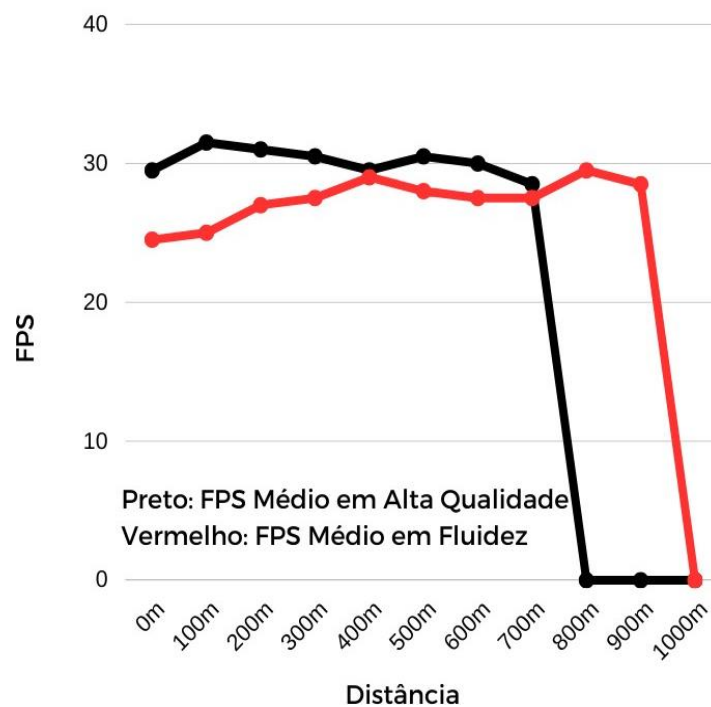


**Figura 14. Gráfico FPS x Distância em fluidez de imagem**



**Figura 15. Alcance de transmissão em fluidez de imagem**

O gráfico da Figura 16 ilustra como a distância e a qualidade da imagem influenciam o FPS médio. A qualidade alta tem FPS médio mais alto do que a transmissão com fluidez até os 400 m de distância, onde as médias se igualam. No entanto, a transmissão em alta qualidade volta a manter média de FPS mais alta a partir dos 500 m. A transmissão de imagens, considerando a alta qualidade, é interrompida entre 700 e 800 m de distância, enquanto que considerando a fluidez de imagens, a transmissão de imagens mantém o FPS médio acima de 27 frames por segundos até os 900 m de distância. A transmissão de imagens considerando a fluidez de imagem é interrompida logo após os 900 m.



**Figura 16. Comparação dos quadros por segundo médios das imagens transmitidas com prioridade de qualidade de imagem e com prioridade de fluidez de imagem**

#### 4.4.2. Análise Qualitativa

Como se pode observar na Figura 17 e com melhor qualidade nas Figuras 7 e 8, a transmissão de imagem a 50 m de altura e 0 m de deslocamento horizontal do ponto de decolagem apresenta ângulos parecidos nas duas configurações. No entanto, conforme é possível observar na Figura 17, há uma diferença na tonalidade das cores entre a transmissão à esquerda, que prioriza a fluidez da imagem, e a transmissão à direita, que prioriza a qualidade da imagem. Por exemplo, um telhado que aparece branco na transmissão à esquerda tem uma tonalidade cinza na transmissão à direita. As cores amarela, azul, verde e vermelho, por outro lado, são mais próximas da realidade nas duas transmissões. Isso pode ser observado nos ônibus amarelos no canto superior direito e nas construções pintadas de amarelo e azul no lado direito da imagem. A cor verde das árvores também se destaca nas duas transmissões. As cores claras que se aproximam do branco tendem a ficar brancas na transmissão à esquerda, que privilegia a fluidez da imagem.

Na transmissão com fluidez de imagem é possível observar o movimento de veículos como carros, motos e bicicletas, e também de pessoas que andam pelas calçadas.



**Figura 17. Comparativo entre imagens transmitidas em streaming com fluidez de imagem (imagem à esquerda) e alta qualidade de imagem (imagem à direita)**

Na maioria das vezes, não é possível determinar a cor da camisa dos pedestres ou a cor das motocicletas, mas é possível perceber a cor da maioria dos carros. A transmissão é suave e agradável na maior parte do tempo, mas o contraste de cores é baixo. Isso não impede de reconhecer a maioria dos objetos, mas pode gerar dúvidas em alguns casos. Durante a transmissão, é possível identificar postos de gasolina, campos abertos, campos de futebol, carros e casas sem muita dificuldade.

A transmissão em alta qualidade permite apreciar vários detalhes da imagem que não se destacam na transmissão com fluidez. No entanto, há uma troca entre qualidade e fluidez, pois a imagem de alta qualidade tem um atraso maior e alguns congelamentos à medida que o drone se afasta. A transmissão com fluidez, por outro lado, tem uma imagem mais suave e sem interrupções. A escolha entre um ou outro parâmetro depende da preferência do espectador até mesmo da especificidade da aplicação que utilizará as imagens.

## **5. Considerações Finais**

### **5.1. Limitações**

O trabalho usou um drone fabricado em escala industrial que não oferece nenhum pacote de desenvolvimento para coletar dados, como dados de FPS da transmissão de imagem ou de telemetria do drone. Por isso, não foi possível obter dados de forma automatizada e com maior precisão. O drone opera na frequência de 2.4 GHz, mas não foi possível capturar o sinal transmitido pelo drone para comparar a qualidade da imagem com a qualidade do sinal recebido. Mesmo com vários testes, nenhuma ferramenta especializada, como por exemplo: AiroDump para Linux e WiFiman para dispositivos Android, conseguiu detectar o sinal do drone.

Outro fator importante consiste no fato de que o drone utilizado neste trabalho podia apenas realizar voos entre 15 a 20 minutos nas condições do dia, o que inviabiliza dois voos seguros em sequência. Logo, foi necessária uma pausa de quatro horas entre os voos, pois a bateria necessitava esfriar para aceitar uma nova carga. Isso acontece porque as baterias de alta capacidade podem se danificar se forem carregadas em alta temperatura (Giyenko e Cho, 2016).

### **5.2. Conclusão**

Os dois voos iniciais foram realizados com a mesma rota e o mesmo canal de transmissão, mas com configurações diferentes de qualidade e fluidez da imagem. O primeiro voo teve como objetivo obter imagens de alta qualidade, o que resultou em imagens mais nítidas, vibrantes e com melhor contraste, mas também mais serrilhadas. Isso pode ser mais atrativo para a percepção humana. O segundo voo teve como objetivo obter uma imagem mais fluida, que resultou em uma imagem mais suave e contínua, mas também menos definida e com menor contraste. Isso pode ser mais adequado para aplicações que envolvam análises de imagens em tempo real, especialmente utilizando Visão Computacional. Pois dessa forma, é possível reconhecer, identificar e detectar eventos em tempo de execução, favorecendo a tomada de decisão.

### **5.3. Trabalhos futuros**

Como trabalho futuro destaca-se a aplicação de algoritmos de Visão Computacional que possam reconhecer objetos em tempo real nas imagens transmitidas pelo drone. Esses algoritmos podem utilizar técnicas como detecção, segmentação, classificação e rastreamento de objetos, que permitem identificar diferentes elementos nas imagens, como ruas, residências e áreas verdes. Essa identificação pode ter diversas utilidades, como auxiliar na navegação do drone, monitorar o ambiente, coletar dados geográficos e realizar análises urbanas.



## Referências

- Alnoman, A. (2022). **Uav-to-uav communication scheme for enabling emergency services during network failure**. International Conference on Electrical and Computing Technologies and Applications (ICECTA), p. 291–294.
- Colonnese, S., Carlesimo, A., Brigato, L., e Cuomo, F. (2018). **Qoe-aware uav flight path design for mobile video streaming in hetnet**. IEEE 10th Sensor Array and Multichannel Signal Processing Workshop (SAM), p. 301–305.
- d’Arcy, S. e Gonzalez, F. (2022). **Design and flight testing of a rocket-launched folding uav for earth and planetary exploration applications**. IEEE Aerospace Conference (AERO), p. 1–15.
- Du, Q., Dong, W., Su, W., e Wang, Q. (2022). **Uav inspection technology and application of transmission line**. IEEE 5th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education (ICISCAE), p. 594–597.
- Duhamel, H. (2023). **O que é rtmp? o protocolo de mensagens em tempo real: O que precisa de saber em 2023**. Disponível em: <https://www.dacast.com/pt/blog-pr/rtmp-real-time-messaging-protocol/>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- Edwards, W. e Ventura, L. (2023). **O que é streaming? entenda o conceito por trás do serviço de transmissão online**. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/02/28/dicas-e-tutoriais/o-que-e-streaming-entenda-o-conceito-por-tras-do-servico-de-transmissao-online/>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- Fachin, O. (2017). **Fundamentos de metodologias**. Saraiva Educação S.A.
- Feyh, F. (2022). **Drone fpv cinewhoop - o que é e quais os diferenciais**. Disponível em: <https://www.mundoconectado.com.br/drones/drone-fpv-cinewhoop-o-que-e-e-quais-os-diferenciais/>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- Fimi (2022). **Fimi x8se 2022 v2**. Disponível em: <https://fimi.com/fimi-x8-se-2022.html>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- Fonseca, J. J. S. d. (2002). **Apostila de metodologia da pesquisa científica**. João José Saraiva da Fonseca.
- Gerhardt, T. E. e Silveira, D. T. (2009). **Métodos de pesquisa**. Plageder.
- Gil, A. (2019). **Métodos E Técnicas De Pesquisa Social**. ATLAS EDITORA.
- Giyenko, A. e Cho, Y. I. (2016). **Intelligent uav in smart cities using iot**. 16th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS), p. 207–210.
- Kumar, S. e Kumar, C. (2023). **Deep learning based target detection and recognition using yolo v5 algorithms from uavs surveillance feeds**. International Conference for Advancement in Technology (ICONAT), p. 1–5.
- Lewin, C. e Somekh, B. (2017). **Teoria e Métodos de Pesquisa Social**. Editora Vozes.
- Lima, B. I. d. (2023). **O que é hdr (high dynamic range) em telas e fotos**. Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/04/14/reviews/o-que-e-hdr-high-dynamic-range/>. Acesso em: 07 ago. 2023.

- Lima, L. e Machado, A. (2023). **O que é android? entenda a diferença para o ios, do iphone.** Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-o-android-entenda-a-diferenca-para-o-ios-do-iphone/>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- Moradi, S., Bokani, A., e Hassan, J. (2022). **Uav-based smart agriculture: a review of uav sensing and applications.** 32nd International Telecommunication Networks and Applications Conference (ITNAC), p. 181–184.
- Oliveira, D. e Lima, B. I. (2023). **O que é fps e qual é a importância para fluidez de jogos?.** Disponível em: <https://olhardigital.com.br/2023/06/16/reviews/o-que-e-fps-e-qual-e-a-importancia-para-fluidez-de-jogos/>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- Pedro, W. (2023). **O que é buffer?.** Disponível em: <https://tecnoblog.net/responde/o-que-e-buffer/>. Acesso em: 07 ago. 2023.
- Sacoto-Martins, R., Madeira, J., Matos-Carvalho, J. P., Azevedo, F., e Campos, L. M. (2020). **Multi-purpose low latency streaming using unmanned aerial vehicles.** 12th International Symposium on Communication Systems, Networks and Digital Signal Processing (CSNDSP), p. 1–6.
- Sampieri, R., Collado, C., Lucio, M., de Moraes, D., Garcia, A., Júlio, M., e da Silva, D. (2013). **Metodologia de Pesquisa. Métodos de Pesquisa.** Penso.
- Sharma, S., Kulkarni, P., e Pathak, P. (2022). **Applications of unmanned aerial vehicles (uavs) for improved business management.** International Interdisciplinary Humanitarian Conference for Sustainability (IIHC), p. 53–57.
- Silic, M., Suznjevic, M., e Skorin-Kapov, L. (2021). **Qoe assessment of fpv drone control in a cloud gaming based simulation.** 13th International Conference on Quality of Multimedia Experience (QoMEX), p. 175–180.
- Utsav, A., Abhishek, A., Suraj, P., e Badhai, R. K. (2021). **An iot based uav network for military applications.** Sixth International Conference on Wireless Communications, Signal Processing and Networking (WiSPNET), p. 122–125.
- Wang, X., Chowdhery, A., e Chiang, M. (2016). **Skyeyes: adaptive video streaming from uavs.** Proceedings of the 3rd Workshop on Hot Topics in Wireless, p. 2–6.