

RELATÓRIO FINAL	Número: 006/PPCN	Emitente: ICEA	UAS
	Data: 07/06/2021	Solicitante: Diretor do ICEA	

Inspeção em voo de auxílios visuais (PAPI) com o uso de UAS

1 FINALIDADE

Este relatório pretende apresentar o resultado da prova de conceito de aplicação de Aeronaves Não Tripuladas (UAS) na inspeção do Indicador de Precisão de Rampa de Aproximação (Precision Approach Path Indicator – PAPI) com a finalidade de apoiar as atividades de inspeção em voo do Grupo Especial de Inspeção Voo (GEIV).

2 REFERÊNCIAS

ANAC. 2017. RBAC-E 94 EMD 00. *Requisitos Gerais para Aeronaves Não Tripuladas de Uso Civil.* Rio de Janeiro, RJ, Brasil : ANAC, 03 de Maio de 2017.

DECEA. 2016. ICA 100-12. *Regras do Ar.* Rio de Janeiro : DECEA, 2016.

— **2020.** ICA 100-40. *Aeronaves Não Tripuladas e o Acesso ao Espaço Aéreo Brasileiro.* Rio de Janeiro, RJ, Brasil : DECEA, 01 de Julho de 2020.

— **2020.** MANINV. *Manual Brasileiro de Inspeção em Voo.* Rio de Janeiro : DECEA, 2020.

— **2020.** MCA 56-1. *Aeronaves Não Tripuladas para Uso Exclusivo em Apoio às Situações Emergenciais.* Rio de Janeiro, RJ, Brasil : DECEA, 01 de Julho de 2020.

— **2020.** MCA 56-2. *Aeronaves Não Tripuladas para Uso Recreativo - Aeromodelos.* Rio de Janeiro, RJ, Brasil : DECEA, 01 de Julho de 2020.

— **2020.** MCA 56-3. *Aeronaves Não Tripuladas Para Uso em Proveito dos Órgãos Ligados aos Governos Federal, Estadual e Municipal.* Rio de Janeiro, RJ, Brasil : DECEA, 01 de Julho de 2020.

— **2020.** MCA 56-4. *Aeronaves Não Tripuladas Para Uso em Proveito dos Órgãos de Segurança Pública, da Defesa Civil e de Fiscalização da Receita Federal.* Rio de Janeiro, RJ, Brasil : DECEA, 01 de Julho de 2020.

ICAO. 2018. Annex 10. *Radio Navigation Aids.* Montreal : ICAO, 2018. Vol. I, 7th edition.

— **2015.** Doc 10019. *Manual on Remotely Piloted Aircraft Systems (RPAS).* Montreal, QC, Canadá : ICAO, 2015. 1st edition.

— **2018.** Doc 8071. *Manual on Testing of Radio Navigation Aids.* Montreal : ICAO, 2018. Vol. I, 5th edition.

— **2004.** Doc 9157. *Aerodrome Design Manual.* Montreal : ICAO, 2004. Vol. Part 4, 4th edition.

— **2020.** UTM Guidance. *Unmanned Aircraft Systems Traffic Management (UTM) – A Common Framework with Core Principles for Global Harmonization.* Montreal, QC, Canadá : ICAO, 25 de Setembro de 2020. 3rd edition.

3 ANEXOS

a) ANEXO A - REQUISITOS TÉCNICOS

b) ANEXO B – METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO EM VOO COM USO DE UAS

c) ANEXO C – PROPOSTAS DE OPERACIONALIZAÇÃO

d) ANEXO D – EXEMPLO DE CARTA DE ACORDO OPERACIONAL

e) ANEXO E – SUGESTÕES DE EXTENSÃO DE PESQUISA

4 SUMÁRIO DA SITUAÇÃO

Em 2016, o GEIV iniciou testes para utilização de aeronaves remotamente pilotadas na aferição de auxílios à navegação. Em 2019, o trabalho ganhou impulso com uma nova estrutura criada pela Portaria DECEA nº 11, de março de 2019, que passou a reunir três unidades da Força Aérea Brasileira e estabeleceu o objetivo do GT de analisar a viabilidade da utilização do UAS nas atividades de inspeção em voo do PAPI, propondo uma visão prospectiva sobre o assunto e, apesar de não visar uma solução operacional aplicável imediatamente, tal cenário também é factível mediante o repasse da solução para a Indústria.

Além do GEIV, também participaram deste estudo o Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA), organização militar responsável pela pesquisa e desenvolvimento do Sistema de Controle do Espaço Aéreo Brasileiro, e o Instituto de Estudos Avançados (IEAv), que tem como atividade fim a ampliação do conhecimento científico e o domínio de tecnologias estratégicas para fortalecimento do poder aeroespacial brasileiro.

Entretanto, antes de iniciar as tratativas com o IEAv, o ICEA interagiu, sem êxito, com a empresa XMobots a fim de buscar uma solução da problemática aqui apresentada.

A equipe do IEAv foi dedicada a apresentar uma solução para o problema e reuniu militares com expertise multidisciplinar, composta por especialistas em cartografia, fotogrametria, programação, fotointeligência, computação de alto desempenho e sensores embarcados, para compreender os principais pontos a serem abordados.

O resultado deste trabalho incluiu a identificação de UAS com a precisão de navegação necessária para o projeto e sensor imageador e o desenvolvimento de aplicativo instalado em *tablet* para coleta e tratamento de dados coletados e de metodologia específica, com base dos requisitos repassados pelo ICEA durante as campanhas.

A equipe responsável pelo projeto iniciou o processo de registro do aplicativo junto ao Instituto Nacional de Propriedade Industrial (INPI) e Organização Mundial de Propriedade Intelectual (OMPI), com previsão de conclusão até outubro de 2021. Após o registro, será possível repassar o protótipo à indústria para o desenvolvimento de um produto operacional.

4.1 CAMPANHAS

A Equipe UAS responsável pela coordenação e realização das campanhas foi composta pelos seguintes militares do ICEA e do IEAv:

- a) Maj Av Mateus **Habermann** (IEAV) - Coordenador
- b) Cap Eng Eln Leandro de Oliveira **Peixoto** (ICEA) - Coordenador
- c) Cap Eng Cgr Gabriel **Dietzsch** (IEAv)
- d) Cap Esp CTA **Cristian** da Silveira Smidt (ICEA)
- e) Cap Esp Fot **Marielcio** Gonçalves Lacerda (IEAV)
- f) Cap Eng Cmp Victor **Moraes** de Faria (IAE)
- g) 2º Ten QOCON Fabiano Da Cruz **Nogueira** (IEAv)
- h) Cv Alex Sandro Mendes **Tostes** (ICEA)
- i) SO QSS BCO Marcelo **Gláucio** da Silva (ICEA)
- j) 1S QSS BFT **Cláudio** Mariano Silva (IEAv)
- k) Consultor **Milton** Abrunhosa (ICEA)



Foram planejadas quatorze campanhas para a pesquisa e desenvolvimento da metodologia, critérios e aplicativo de suporte para a inspeção em voo do PAPI com o UAS. Devido a problemas técnicos, não foi possível realizar uma das campanhas planejadas e, assim, somente treze campanhas foram realizadas, sendo suficientes para se obter os resultados apresentados neste relatório.

As três últimas campanhas, realizadas nos aeródromos de Uberlândia e Uberaba, Pelotas e Navegantes, Vitória e Ilhéus, foram utilizadas para consolidar e validar a metodologia e os sistemas desenvolvidos.

Em todas as campanhas, a Equipe UAS era complementada por pilotos inspetores e operadores de teodolito do GEIV, que, apesar de não operar diretamente o sistema em todas as missões, puderam confrontar os resultados obtidos com a metodologia praticada atualmente pelo GEIV.

4.2 METODOLOGIA DE COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

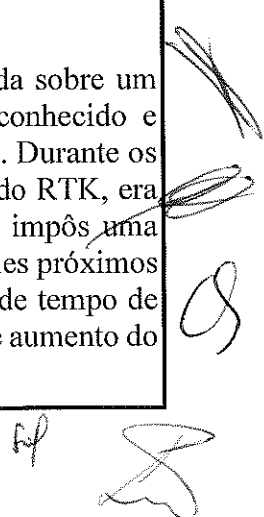
Para a realização de coleta e tratamento dos dados do projeto, foi utilizado um UAS DJI Matrice 600 PRO®, com RTK (Real Time Kinematic), para maior precisão no posicionamento 3D da aeronave. O UAS foi equipado com uma câmera fotográfica Nikon® D3100, acoplada por meio do Gimbal original do UAS.

Durante o desenvolvimento do projeto, a Equipe pensou na possibilidade de melhoria na identificação das transições das luzes do PAPI com o uso de um filtro para a câmera. Essa possibilidade foi testada com o uso de um papel celofane acoplado à lente da câmera e atingiu resultados satisfatórios, mostrando-se efetivo para reduzir o reflexo das luzes do PAPI nas laterais das caixas e melhorou a percepção da transição das luzes. Outra possibilidade, não testada, seria o uso de filtros polarizados.

Para efetuar a inspeção de PAPI a curtas distancias utilizando um UAS, a sua acurácia posicional é fator determinante. A acurácia posicional fornecida apenas pelo GPS não basta para se atingir as precisões desejadas para obtenção dos ângulos verticais, no caso mais crítico de $0,05^\circ$. Constata-se daí que a integração com um RTK, exibido na Figura 1, é o primeiro requisito para o sistema. A técnica do RTK baseia-se na medição de fase da onda portadora dos sinais dos satélites, a qual é corrigida por meio de dados enviados por uma estação de referência, permitindo-se obter uma acurácia horizontal de cerca de 2 cm.

Após a fixação da constelação pelo UAS e pela antena do RTK, os dados apresentaram correção posicional dentro de 1 segundo de intervalo e não houve variação planimétrica e altimétrica que ultrapassasse as precisões nominais do equipamento: Horizontal: $1 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ ($1 \times 10^{-6} \text{ cm}$) e Vertical: $2 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ ($1 \times 10^{-6} \text{ cm}$).

Para o funcionamento do RTK, a antena de referência foi colocada sobre um tripé de topografia e o conjunto posicionado sobre um ponto de referência conhecido e registrado pelo Instituto de Cartografia da Aeronáutica (ICA) no sítio aeronáutico. Durante os estudos, observou-se que, para permitir que o UAS obtivesse link com a antena do RTK, era necessário que a decolagem da aeronave ocorresse próxima a esta antena. Isso impôs uma restrição aos pontos possíveis para utilização da solução proposta no projeto àqueles próximos à cabeceira servida ou ao PAPI inspecionado. Outros pontos resultaram em grande tempo de voo para posicionamento do UAS e conseqüente redução da autonomia utilizável e aumento do tempo necessário para a inspeção.



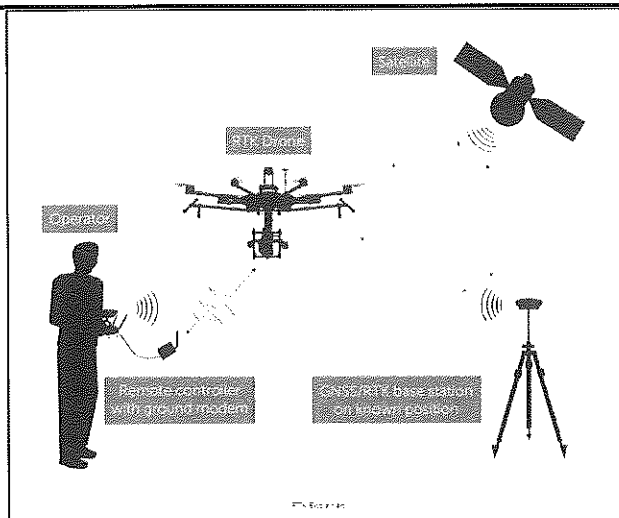


Figura 1 – Esquema de funcionamento do RTK.

Fonte: <https://www.heliguy.com/blog/2019/01/24/is-rtk-the-future-of-drone-mapping/>

Durante as campanhas, buscou-se a realização de voos de inspeção do GEIV para coleta de dados de referência e comparação com os resultados obtidos pelo UAS. A inspeção do GEIV obedeceu aos procedimentos e metodologias previstos no Manual Brasileiro de Inspeção em Voo – MANINV (DECEA, 2020).

A inspeção realizada com o UAS utilizou um aplicativo para tablet para a coleta dos dados de posição (3D) do UAS e registro dos eventos de transição das luzes do PAPI. Esse aplicativo, então, com base nos dados coletados, calculava os ângulos das transições, registrando os resultados em um relatório simplificado. Cabe ressaltar que, como o objetivo do projeto era realizar uma prova de conceito e não desenvolver um produto operacional, o layout do relatório gerado pelo sistema (Figura 2) não obedeceu ao modelo previsto no MANINV. Pela mesma razão, a interface do aplicativo (Figura 3) pode ser melhorada e ter funcionalidades adicionadas, tais como acesso à base de dados do ICA ao invés da inserção manual dos dados geográficos de PAPI, Ponto de Origem (PO) e cabeceira.

Caixa 1:	2,4131889869195358	2,4353684901864456	2,4043760594645263	2,398338491406174
Caixa 2:	2,8376298187187445	2,887057953157506	2,7822478766862084	2,7975485470383616
Caixa 3:	3,1802585227008775	3,2840644374663452	3,035185241284408	3,1088990612172864
Caixa 4:	3,7103541157651483	3,7591324147798915	3,6587631512763052	3,695555645281148
Media CX 1:	2,4128180069941703			
Media CX 2:	2,8261210489002053			
Media CX 3:	3,1521018156672294			
Media CX 4:	3,705951331775623			
Angulo Normal da Rampa:	2,9891114322837176			
Abertura da Rampa:	0,32598076676702403			

Figura 2 – Relatório de inspeção

Os padrões de inspeção com o UAS utilizados envolveram manobras verticais (para a inspeção do ângulo da rampa) e manobras horizontais (para a inspeção da abertura horizontal), conforme o descrito no ANEXO B – METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO EM VOO COM USO DE UAS.

[Handwritten signatures and initials]



Figura 3 – Interface do aplicativo

5 RESULTADOS OBTIDOS

Nas três últimas campanhas, com base na sistemática descrita no item 4.2, foram obtidos os resultados abaixo registrados e comparados aos do GEIV, que atestam a eficiência e eficácia da utilização de UAS em apoio à inspeção em voo de PAPI, conforme tabelas a seguir.

5.1 CAMPANHA DE UBERLÂNDIA E UBERABA

PAPI	SBUL RWY 04		SBUL RWY 22	
	GEIV	UAS	GEIV	UAS
Caixa 1	2.48	2.35	2.47	2.39
Caixa 2	2.74	2.76	2.76	2.68
Caixa 3	3.32	3.32	3.3	3.21
Caixa 4	3.65	3.64	3.61	3.55
Ângulo da Rampa	3.03	3.04	3.03	2.94
Largura da Rampa	0.58	0.56	0.54	0.53
Cobertura angular (Dir)	13.4			
Cobertura angular (Esq)	12.5			

Tabela 1 – Resultados de SBUL (Campanha 11. de 09/11/2020 a 13/11/2020)

PAPI	SBUR RWY 17		SBUR RWY 35	
	GEIV	UAS	GEIV	UAS
Caixa 1	2.50	2.55	2.54	2.50
Caixa 2	2.85	2.92	2.80	2.78
Caixa 3	3.20	3.20	3.17	3.17
Caixa 4	3.56	3.58	3.50	3.51
Ângulo da Rampa	3.03	3.06	2.99	2.96
Largura da Rampa	0.35	0.29	0.37	0.35
Cobertura angular (Dir)	13.47	11.00	11.00	12.00
Cobertura angular (Esq)	10.45	12.00	12.00	13.00

Tabela 2 – Resultados de SBUR (Campanha 11, de 09/11/2020 a 13/11/2020)

[Handwritten signatures and initials]

As tabelas 1 e 2 comparam a avaliação dos ângulos de transição, rampa e cobertura angular coletados pelo voo com a aeronave do GEIV e dados obtidos com os procedimentos e metodologias aplicados no uso de UAS Matrice 600, na mesma campanha, e no ambiente das cabeceiras de pista dos aeródromos de Uberlândia e Uberaba.

5.2 CAMPANHA DE NAVEGANTES E PELOTAS

PAPI	SBNF RWY 07		SBNF RWY 25	
	GEIV	UAS	GEIV	UAS
Caixa 1	2.59	2.28	2.59	2.67
Caixa 2	2.89	2.90	2.89	2.96
Caixa 3	3.21	3.17	3.21	3.24
Caixa 4	3.52	3.44	3.52	4.05
Ângulo da Rampa	3.05	3.04	3.05	3.10
Largura da Rampa	0.32	0.27	0.32	0.28
Cobertura angular (Dir)	11	11.00	11.12	10.00
Cobertura angular (Esq)	15	9.00	15	9.00

Tabela 3 - Resultados de SBNF (Campanha 12, de 25/11/2020 a 29/11/2020)

PAPI	SBPK RWY 06		SBPK RWY 24
	GEIV	UAS	
Caixa 1	2.53	2.44	NÃO POSSUI PAPI
Caixa 2	2.84	2.77	
Caixa 3	3.19	3.16	
Caixa 4	3.56	3.48	
Ângulo da Rampa	3.02	2.96	
Largura da Rampa	0.35	0.40	
Cobertura angular (Dir)	11.00	9.78	
Cobertura angular (Esq)	10.00	9.62	

Tabela 4 - Resultados de SBPK (Campanha 12, de 25/11/2020 a 29/11/2020)

As tabelas 3 e 4 compilam os resultados obtidos nas cabeceiras de pistas dos aeródromos de Navegantes e Pelotas nos mesmos moldes da campanha anterior para que fosse possível a validação dos procedimentos e metodologias aplicados no uso do UAS.

5.3 CAMPANHA DE VITÓRIA E ILHÉUS

PAPI	SBVT RWY 06		SBVT RWY 24	
	GEIV	UAS	GEIV	UAS
Caixa 1	4.32	3.98	3.63	6.43
Caixa 2	3.96	3.64	3.30	6.86
Caixa 3	3.48	3.25	2.75	6.87
Caixa 4	3.24	3.07	2.32	6.51
Ângulo da Rampa	3.72	3.44	3.02	6.86
Largura da Rampa	0.48	0.39	0.48	0.02
Cobertura angular (Dir)				
Cobertura angular (Esq)				

Tabela 5 - Resultados de SBVT (Campanha 14, de 08/03/2021 a 12/03/2021)

PAPI	SBIL RWY 11		SBIL RWY 29	
	GEIV	UAS	GEIV	UAS
Caixa 1	3.56	3.57	3.59	3.59
Caixa 2	3.16	3.08	3.20	3.11
Caixa 3	2.78	2.67	2.86	2.79
Caixa 4	2.44	2.22	2.60	2.54
Ângulo da Rampa	2.97	2.88	3.03	2.95
Largura da Rampa	0.37	0.40	0.34	0.32
Cobertura angular (Dir)				
Cobertura angular (Esq)				

Tabela 6 - Resultados de SBIL (Campanha 14, de 08/03/2021 a 12/03/2021)

As tabelas 5 e 6, compilam os resultados obtidos nas cabeceiras de pistas dos aeródromos de Vitória e Ilhéus.

O levantamento em SBVT foi dificultado pela chuva constante. A realização do voo somente foi possível, com algum resultado, no primeiro dia, quando foi feito o levantamento vertical da RWY06. Para a RWY24 só foi possível voar durante o dia e, pela posição do sol, a visualização das transições do PAPI foi muito prejudicada, evidenciando que voos durante o dia, especialmente com o sol alinhado com o PAPI, podem ser inviáveis.

5.4 CAMPANHA DE SÃO LUÍS E PORTO VELHO

Não foi possível realizar a coleta de dados em São Luís e em Porto Velho, referente à Campanha 13, devido a pane no UAS Matrice. O UAS não realizou a conexão entre o controle e a aeronave, tornando o voo impraticável. Foram tentadas soluções logísticas para que um controle reserva fosse enviado para São Luís, porém sem sucesso. Ainda assim, apesar do não aproveitamento dessa missão (Campanha 13), a análise dos dados obtidos até aquele momento já era suficiente para a prévia conclusão do projeto de pesquisa.

6 ANÁLISE DOS RESULTADOS

6.1 TRATAMENTO ESTATÍSTICO


Para a análise dos resultados, fez-se a comparação entre os resultados obtidos pelo UAS e o GEIV, contabilizando os resultados da diferença entre os valores obtidos dentro da tolerância do equipamento (0.1 grau).

Em seguida, foi feita a comparação estatística da média dos resultados obtidos pelo UAS com os resultados obtidos pelo GEIV, calculando-se a correlação entre eles por meio do Coeficiente de Correlação de Pearson, conforme a seguinte fórmula:

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}, \text{ onde}$$

- r = coeficiente de correlação;
- x_i = valores da variável x em uma amostra
- \bar{x} = média aritmética dos valores da variável x
- y_i = valores da variável y em uma amostra

SP



\bar{y} = média aritmética dos valores da variável y

O resultado deste cálculo foi interpretado conforme a tabela abaixo:

Coefficiente	Significado
± 0.9	correlação muito forte.
± 0.7 a 0.9	correlação forte.
± 0.5 a 0.7	correlação moderada.
± 0.3 a 0.5	correlação fraca.
± 0 a 0.3	correlação desprezível.

Tabela 7 – Interpretação do Coeficiente de Pearson (MUKAKA, 2012)

Os resultados analisados foram agrupados em três classes: diferenças entre resultados UAS e GEIV (Tabela 8); Resultados do ângulo normal da rampa (Tabela 9); e Correlação entre resultados UAS e GEIV (Tabela 10).

6.2 DADOS ESPÚRIOS OBTIDOS EM SBVT

Os resultados obtidos em SBVT mostraram-se muito fora da tolerância do equipamento. Tal comportamento não foi observado nas outras localidades avaliadas. Por causa da escassez de tempo, não foi possível conduzir uma análise mais aprofundada para determinar a causa da diferença acima do normal nos resultados lá obtidos. As causas possíveis estão ligadas a:

- a) Erro no posicionamento das caixas do PAPI: a proximidade de execução do voo do UAS reduz a tolerância do erro de instalação das caixas do PAPI. Quanto maior a proximidade do sistema, maior a precisão a ser adotada na instalação. Tal erro não fica evidenciado pelo voo do GEIV uma vez que as leituras são obtidas a uma distância do sistema em que a tolerância ao erro se torna maior.
- b) Interferências de outras antenas localizadas no aeroporto no RTK do UAS: algumas interferências podem inserir erro nas coordenadas do UAS. Como relatado no item anterior, qualquer erro próximo ao sistema pode resultar em diferenças grandes no resultado.
- c) Percepção da transição pelo operador: os resultados obtidos por operador que não fosse piloto do GEIV podem sofrer variações maiores, por falta de treinamento e prática.
- d) Erro nos dados topográficos inseridos no UAS: o UAS utiliza altitudes ortométricas, enquanto as informações aeronáuticas apresentam altitudes geométricas. Erro no cálculo da conversão das altitudes aeronáuticas para a inserção no sistema pode introduzir erro na avaliação. Além disso, diferenças na planimetria (latitude e longitude), devido ao grande nível de acurácia exigido pelo sistema, pode ser um fator contribuinte para erros.

Devido ao desvio não identificado na inspeção dos PAPI de SBVT, estes dados foram considerados espúrios, de causa não identificável e de origem local. Tais resultados e sua análise serão apresentados no estudo, para efeito de comparação, porém não foram considerados na análise final.

6.3 EFEITOS DOS DADOS ESPÚRIOS DE SBVT SOBRE OS RESULTADOS

Conforme apresentado em 6.2, os resultados obtidos em SBVT apresentaram um erro muito acima do que o encontrado nas outras localidades e, por isso, causaram forte influência negativa sobre os resultados obtidos. Esses resultados, apesar de terem sido descartados no âmbito do projeto, serão apresentados neste Relatório, por motivo de transparência.

Em relação à diferença entre os resultados encontrados pelo UAS e pelo GEIV, dos 12 resultados encontrados, 11 estavam fora da tolerância de 0.1° (Tabela 8). Sem SBVT, o número de resultados fora da tolerância caem de 16 (24,24% do total) para 5 (9,26% do total).

Diferenças UAS x GEIV	Dentro da tolerância	Total	%
c/ SBVT	50	66	75,76%
s/ SBVT	49	54	90,74%

Tabela 8 – Diferenças entre resultados UAS e GEIV

Em relação aos resultados do ângulo normal da rampa, SBVT apresentou os dois únicos resultados encontrados fora da tolerância definida para esse projeto: foram 11 resultados encontrados e SBVT apresentou os dois fora de tolerância.

Isso causou uma redução de 18,18% no índice de resultados dentro da tolerância (de 100% para 81,82%), conforme visto na Tabela 9.

Ângulo Normal da Rampa	Dentro da tolerância	Total	%
c/ SBVT	9	11	81,82%
s/ SBVT	9	9	100,00%

Tabela 9 – Resultados do ângulo normal da rampa

A influência desses resultados espúrios é mais evidenciada quando se aplica o Coeficiente de Correlação de Pearson. A correlação entre os resultados do UAS e do GEIV cai de 0,774071792 (correlação forte) para 0,094343291 (correlação desprezível).

	c/ VT	s/ VT
caixa 1	0,813293541	0,975533103
caixa 2	0,539561026	0,919877073
caixa 3	-0,282699816	0,984646644
caixa 4	0,162907367	0,941589732
Ângulo da Rampa	0,094343291	0,774071792
Largura da Rampa	0,722672911	0,938861592
Total	0,870910389	0,995235482

Tabela 10 – Correlação entre resultados UAS e GEIV

A diferença entre a correlação dos resultados do UAS e do GEIV é melhor visualizada comparando-se o Gráfico 1 – Correlação entre os resultados UAS e GEIV – sem SBVT com o Gráfico 2 – Correlação entre os resultados UAS e GEIV – com SBVT

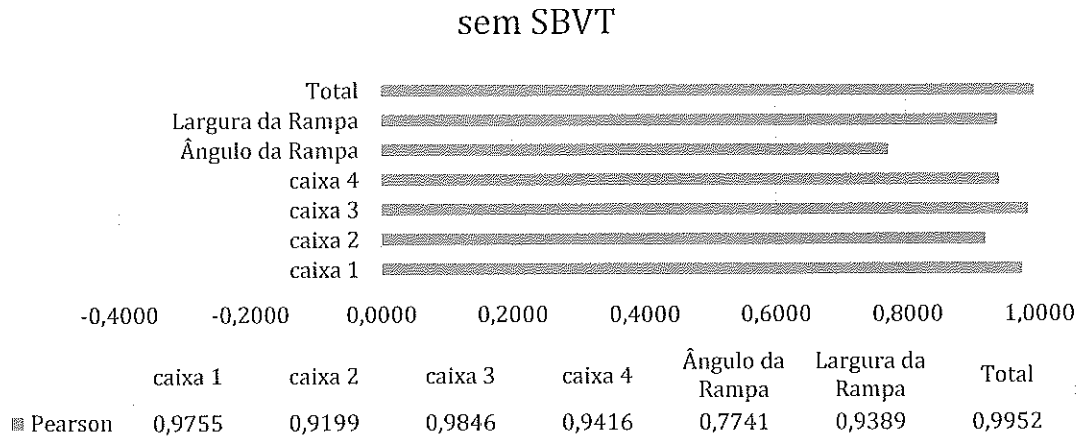


Gráfico 1 – Correlação entre os resultados UAS e GEIV – sem SBVT

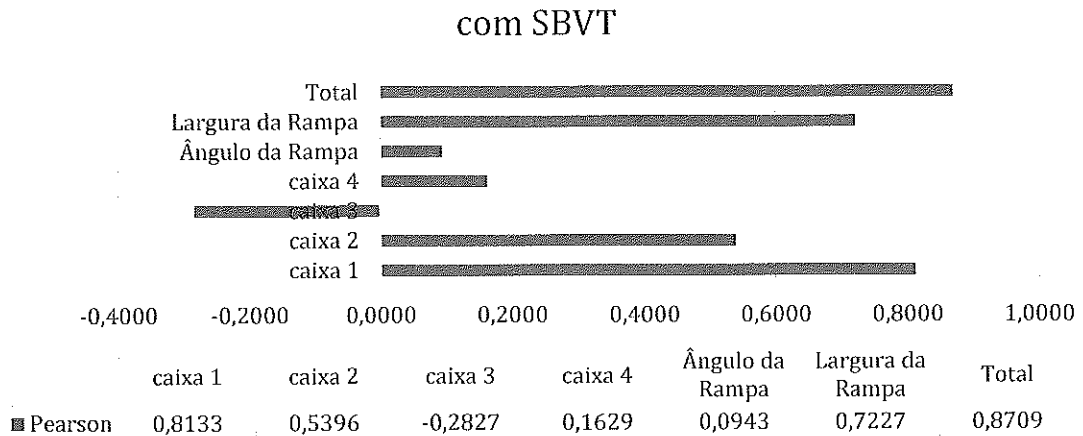


Gráfico 2 – Correlação entre os resultados UAS e GEIV – com SBVT

6.4 RESULTADOS PRÁTICOS DO TRABALHO

Uma vez descartados os resultados espúrios, passa-se a analisar os resultados válidos, nas três categorias analisadas.

Quanto à diferença entre os resultados UAS e GEIV, observa-se que 90,74% dos resultados (Tabela 8) foram encontrados dentro da tolerância de 0,1° em relação aos resultados do GEIV.

Em relação aos resultados do ângulo normal da rampa, todos os resultados válidos encontraram-se dentro do valor de tolerância considerado (Tabela 9).

Por fim, observa-se na Tabela 10 que, na análise feita por meio do Coeficiente de Correlação de Pearson entre os resultados obtidos, foi encontrada uma **correlação muito forte** (0,9952). A análise do ângulo normal da rampa apresentou uma **correlação forte** (0,7741).

Os resultados obtidos na inspeção em voo com o uso de UAS apresentam-se muito próximos aos do GEIV. Isso demonstra que a metodologia desenvolvida pela Equipe

Sep
[Assinatura]

UAS mostra-se viável para o desenvolvimento operacional, visando a sua aplicação em cenário real.

É importante ressaltar que foi observado, durante o estudo, que a falta de experiência dos operadores do UAS na inspeção do PAPI influenciou negativamente os resultados, sendo, em si, um fator de introdução de erro no sistema. A realização da inspeção em voo com UAS por pilotos inspetores experientes tende a melhorar os resultados obtidos.

Observou-se, também, que o aprimoramento da interface desenvolvida para o protótipo de testes pode melhorar os resultados. O desenvolvimento da plataforma focou na coleta e tratamento dos dados e não teve a participação de operadores. Com isso, algumas questões de interface homem-máquina (IHM) precisam ser revistas para a operacionalização da inspeção de PAPI com o uso de UAS.

7 LIÇÕES APRENDIDAS

7.1 Um tempo de voo de cinco a dez minutos é bastante para a coleta de grande volume de dados para a média dos ângulos e cobertura angular.

7.2 O uso de filtros na câmera melhora a percepção da transição das luzes do PAPI. Estudos feitos no âmbito do projeto apontam que o uso do filtro azul mostrou os melhores resultados, uma vez que este filtro bloqueia a luz vermelha. Para a operacionalização, é recomendável a aquisição de filtros de cristal. O uso de filtros polarizados não foi pesquisado e pode apresentar benefícios adicionais à atividade.

7.3 Durante o estudo, observou-se que o uso do UAS evidencia desvios na instalação do PAPI normalmente não observáveis a olho nu e, portanto, não identificáveis durante a inspeção em voo do GEIV, especialmente quando é necessário instalar o sistema desalinhado. Entretanto, o estudo demonstrou que, quando a instalação do sistema desalinhado é feita com precisão, o UAS pode ser utilizado normalmente para sua inspeção, sem afetar o resultado.

7.4 Temperaturas ambientais elevadas interferem no funcionamento dos equipamentos, podendo resultar em descarga mais rápida das baterias ou travamento dos sistemas, uma vez que o UAS possui limites operacionais de temperaturas.

7.5 As coordenadas geográficas necessitam de precisão mínima de décimos de segundos para não ocasionar discrepâncias nos dados coletados pelo UAS. Assim, a determinação das coordenadas passa a ser um fator crítico.

7.6 A escolha da fonte correta dos dados geográficos é essencial para a inspeção em voo. É altamente recomendável a utilização de um banco de dados geográficos único, bem como a determinação de que os sistemas de inspeção obtenham as informações de posicionamento (latitude, longitude e altitude) diretamente desse banco de dados, descartando, assim, erros provenientes da inserção manual dos dados.

7.7 A utilização de pontos de referência fora da cabeceira da pista resultou em melhor aproveitamento da missão, uma vez que não se fez necessária a retirada da antena do RTK da cabeceira a cada aproximação. A determinação de pontos de referência próximos à cabeceira inspecionada e fora da faixa de pista pode ser fator fundamental para a operacionalização da inspeção com o uso de UAS. Destaca-se que o melhor cenário operacional é a utilização de ponto do PO rebatido na lateral da pista.

7.8 Operações durante o dia podem apresentar dificuldade de visualização das transições das luzes, por ofuscamento ou reflexo da luz solar. As operações noturnas, além de reduzir o problema de ofuscamento, coincidem com períodos de menor movimentação e temperaturas mais adequadas ao voo do UAS.

7.9 A apresentação do resultado na tela do tablet durante a inspeção pode influenciar o operador a buscar um valor ótimo, às vezes diferente do realmente apresentado pelo PAPI. O IHM deve retornar ao operador um aviso de registro do evento, porém, pode apresentar o resultado somente após o término da inspeção, na forma de um relatório preliminar.

7.10 O produto comercial vem com bloqueio de no-fly zone sobre aeródromos, obrigando a solicitação de liberação (por meio eletrônico) junto ao fabricante. O desenvolvimento de um produto próprio poderia reduzir tal burocracia, trazendo maior flexibilidade à atividade.

8 AÇÕES RECOMENDADAS

8.1 ALTERAÇÕES REGULAMENTARES

8.1.1 ICA 100-40 - AERONAVES NÃO TRIPULADAS E O ACESSO AO ESPAÇO AÉREO BRASILEIRO

A ICA 100-40 traz o processo de acesso do UAS no espaço aéreo. Para as operações no sítio aeroportuário, ela faz diversas exigências para garantir a segurança das operações no aeroporto, tanto para aeronaves tripuladas quanto para as não tripuladas e a equipe envolvida na sua operação.

Tais exigências fazem sentido quando aplicadas a operações pontuais, porém, no caso da inspeção em voo, elas tornam-se uma dificuldade, se o processo for feito a cada vez que a inspeção for necessária.

Assim, para a operacionalização da inspeção em voo, sugere-se a inclusão de um novo item no capítulo 11 (Regras de acesso ao espaço aéreo), seção 2 (Regras específicas), contendo os procedimentos de coordenação entre a Equipe UAS e o ATC, bem como os procedimentos adotados para garantir a segurança operacional das operações tripuladas e não tripuladas, em substituição à Avaliação de Risco Operacional (ARO), à Análise de Impacto sobre a Segurança Operacional (AISO) e à Carta de Acordo Operacional (CAOp).

Durante as campanhas de inspeção com o UAS, a Equipe adotou uma CAOp (ANEXO D – EXEMPLO DE CARTA DE ACORDO OPERACIONAL) padronizada, a qual foi substituída, durante o período da COVID, por uma Ata de Intenções, assinada pelo Operador, pela AAL e pelo PSNA do aeródromo. O conteúdo desta Ata de Intenções pode servir de base para o texto do regulamento para permitir a inspeção com o uso do UAS em área patrimonial do aeródromo.

Adicionalmente, é oportuna a revisão do uso do termo “VMC” como requisito para as VLOS: as condições especificadas na ICA 100-12, aplicadas a aeronaves tripuladas, pode não fazer sentido quando utilizadas por aeronaves menores e com maior capacidade de manobra, especialmente em operações VLL e com raio de operação menor que 5 km.



8.1.2 MCA 56-3 - AERONAVES NÃO TRIPULADAS PARA USO EM PROVEITO DOS ÓRGÃOS LIGADOS AOS GOVERNOS FEDERAL, ESTADUAL E MUNICIPAL

As alterações propostas em 8.1.1, caso adotadas, já atendem às operações de inspeção com o uso de PAPI dentro da área patrimonial do aeródromo. Entretanto, caso seja do entendimento da autoridade responsável de que tais alterações não cabem a uma ICA, estas podem ser inseridas na MCA 56-3, em capítulo específico.

8.1.3 MANINV

Os padrões de inspeção utilizados pelo GT encontram-se no ANEXO B – METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO EM VOO COM USO DE UAS a este Relatório. O texto do anexo pode servir de base para a inserção da metodologia de inspeção de PAPI com o uso do UAS no MANINV.

8.1.4 OUTRAS PUBLICAÇÕES

A fim de permitir a operacionalização e padronização das inspeções de PAPI com o uso do UAS, é recomendável que seja desenvolvido um Manual, demonstrando com o uso de imagens obtidas a partir do aplicativo, os momentos de transição e dos limites da cobertura angular (Caixa 1 e 4). Tal Manual irá auxiliar a atenuar a subjetividade na escolha correta do instante do evento para cálculo dos parâmetros angulares. Esse manual deverá incluir as ações de preparação de missão (coleta de dados, preparação e checagem de equipamento), de pré-voe (verificação de equipamento, instalação da antena, inserção dos dados geográficos), da operação do UAS (pilotagem, coordenação do voo, posicionamento inicial, padrões de deslocamento), de operação do aplicativo (inserção dos dados, observação das informações essenciais do voo, ativação do evento) e da captura e tratamento dos dados (geração dos relatórios, registros de ocorrências).

8.2 PROCESSO DE REGISTRO DE SOFTWARE

8.2.1 Acelerar o processo de patente do aplicativo desenvolvido pelo IEAv para que a solução passe a ser utilizada de maneira comercial. Ou, ainda, que sejam estabelecidos acordos com a iniciativa privada para que a solução ganhe escala e assistência técnica integral caso seja repassada ao GEIV.

8.3 DETERMINAÇÃO DE PONTOS DE REFERÊNCIA PARA RTK

8.3.1 A determinação de pontos de referência no través da cabeceira servida pelo PAPI e fora da faixa de pista favorece a inspeção, ao permitir que, durante operações de pouso e de decolagem, a equipe permaneça próxima à pista, com a antena do RTK instalada.

8.3.2 Seria desejável, também, a construção de uma base de altura fixa, eliminando a necessidade da instalação de um tripé de cartografia e a consequente medição da altura de instalação. Isso reduziria sobremaneira o tempo necessário para a configuração do sistema e reduziria as fontes de erro do sistema (medição e inserção manual da altura da antena do RTK).

sf

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho de pesquisa para a utilização de UAS na aferição de auxílios à navegação foi significativamente impulsionado quando o ICEA buscou a participação do IEAv, unindo-se ao GEIV, para compor a equipe que visou desenvolver as soluções aplicadas no projeto. A colaboração entre as OM, solidificada pela Portaria DECEA nº 11, de março de 2019, foi fundamental para o sucesso do projeto.

O trabalho desta Equipe, desenvolvido em São José dos Campos e em diversos aeródromos, concentrados em treze campanhas de levantamento de dados e validação, demonstrou a viabilidade da utilização de um UAS para a inspeção em voo de PAPI. Os resultados obtidos durante as campanhas demonstram alto grau de confiabilidade e fidedignidade com os resultados obtidos pelo GEIV. Estes resultados apresentaram correlação de 99,52%, de acordo com o coeficiente de correlação de Pearson, com 90,74% dos dados dentro do limite de tolerância estabelecido no projeto.

Por meio da interação entre o ICEA, o IEAv e o GEIV, foi possível desenvolver um sistema protótipo que, nos testes, demonstrou precisão e acurácia satisfatórias com potencial para economizar horas de voo de aeronaves tripuladas para inspeção do PAPI, reduzir custos com diárias e reduzir emissão de CO₂. Vale ressaltar que o protótipo, para ser operacionalizado, precisa ser aprimorado a fim de tornar a ferramenta mais amigável, bem como contar com base de dados para reduzir a necessidade de inserção manual de coordenadas geográficas.

A alta precisão de navegação do UAS exigida para tal inspeção, dada a proximidade do PAPI em que a inspeção em voo é realizada, demanda, também, alta precisão de instalação do PAPI. O mesmo nível de precisão não é exigido nas inspeções realizadas com aeronaves, tendo em vista que a distância maior em que é feita acarreta uma maior tolerância no posicionamento das caixas. Tal fato ficou evidenciado na campanha realizada em SBYS, em que os resultados obtidos pela Equipe UAS foram discrepantes em relação aos resultados do GEIV. Tal hipótese foi reforçada após reunião realizada com o PAME, em que este esclareceu sobre a metodologia de instalação das caixas do PAPI utilizada pelo Parque.

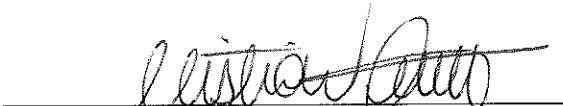
Dessa forma, é possível afirmar que os procedimentos e metodologias desenvolvidos no âmbito do estudo são compatíveis aos procedimentos e evoluções que a aeronave do GEIV realiza durante a inspeção em voo.


A solução de coleta e tratamento de dados utilizada no projeto, entretanto, precisa de refinamento para a sua aplicação operacional, sendo necessário o seu desenvolvimento voltado à operação e às necessidades do GEIV, tendo em vista que o objetivo do projeto foi demonstração de viabilidade, não o desenvolvimento de soluções operacionais.



Elaborado por:


Gabriel **Dietzsch** Cap Eng Cgr

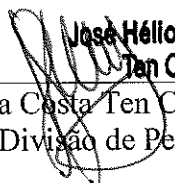

Cristian da Silveira Smidt Cap Esp CTA

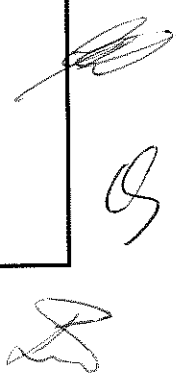

Marcelo **Gláucio** da Silva SO QSS BCO

Revisado por:


Leandro de Oliveira **Peixoto** Cap Eng Eln

Aprovado por:


José Hélio Abreu Nogueira
Ten Cel Esp Met
w/mf. Silas Martins da Costa Ten Cel Esp Com
Chefe da Divisão de Pesquisa



ANEXO A- REQUISITOS TÉCNICOS

1 AERONAVE

1.1 A aeronave empregada deve ter capacidade de navegação horizontal e vertical, com velocidade vertical mínima menor ou igual a 1 m/s, uma vez que, na distância em que a inspeção do PAPI com o UAS é realizada, a transição das luzes se dá muito rapidamente, portanto, a aeronave deve ter capacidade de evolução vertical lenta.

1.2 A aeronave deve ter capacidade de estabilização de voo com limites mínimos de vento omnidirecional de 30 kt (Ref.: Doc 8168 – PANS-OPS, Volume II) sem que ultrapassasse as precisões nominais do equipamento horizontal: $1 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ ($1 \times 10^{-6} \text{ cm}$) e vertical: $2 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ ($1 \times 10^{-6} \text{ cm}$).

2 SISTEMA DE POSICIONAMENTO

2.1 O UAS deve ser provido com sistema de posicionamento DGPS com correção de posicionamento cinemático em tempo real (RTK). Referência: item 6.4.4 do MANINV (DECEA, 2020), Tabela 6-1.

AUXÍLIO/SISTEMA	SPA REQUERIDO
	UNIFIS 3000
PAPI/VASIS	DGPS, DRTT, THD (*) ou UNICAM

Tabela 6-1 (MANINV)

2.2 O erro máximo vertical e horizontal aceitável para o sistema de posicionamento, medido a 60 m do PAPI, é de $2 \text{ cm} \pm 1 \text{ ppm}$ ($1 \times 10^{-6} \text{ cm}$).

3 SISTEMA ÓTICO

3.1 O sistema ótico tem que ser capaz de se comunicar com a UAS e ter a possibilidade de acoplar um filtro ótico.

3.2 Não são necessárias outras capacidades específicas, podendo ser utilizado o sistema ótico embarcado na aeronave, desde que este não apresente distorções de imagem advindos de lentes especiais, como lente grande angular, por exemplo.

4 SISTEMA DE C2

4.1 Para permitir a coleta de dados para a inspeção do auxílio é necessário que o UAS utilizado seja capaz de comunicar-se, por meio de rede sem fio, com um tablet, o qual contenha o aplicativo de coleta e análise dos dados da inspeção. O conjunto mínimo de dados requerido é:

- a) Geolocalização (latitude, longitude e altura/altitude);
- b) Imagens obtidas por meio do sistema ótico;
- c) Informações cinemáticas do UAS (velocidades verticais e horizontais); e

d) Informação de bateria.

5 SISTEMA DE COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

5.1 O sistema de coleta e tratamento de dados deve ser capaz de capturar em tempo real, a partir dos dados enviados pelo UAS (previstos em 4.1 deste Anexo), a geolocalização e informações cinemáticas do UAS, utilizando-se o cálculo dos planos angulares das transições das luzes do PAPI.

5.2 Para esse cálculo, o sistema necessita de informações geográficas da cabeceira e do PO do PAPI. Tais informações devem ser carregadas a partir de um banco de dados offline (atualizado e carregado na memória do tablet a cada início de missão).

5.3 A partir das informações de posicionamento e cinemática do UAS e das informações geográficas da cabeceira e do PO, o sistema deve ser capaz de calcular os valores de inspeção constantes no MANINV (DECEA, 2020):

- a) Largura da rampa;
- b) Ângulo normal da rampa; e
- c) Cobertura angular.

5.4 O sistema deve ser capaz de registrar os valores encontrados em relatório configurável, de acordo com os modelos previstos no MANINV.

5.5 O sistema deve ser capaz de registrar todos os dados de voo do UAS, incluindo dados posicionais e cinemáticos, e da interação do inspetor com o IHM (registro de eventos), a fim de permitir a análise pós voo da inspeção realizada.

5.6 O sistema deve ser capaz de registrar, automaticamente, informações de tempo de voo, taxa de desgaste de bateria, duração total da bateria entre troca e disponibilizá-las em relatório eletrônico configurável.

5.7 O sistema deve permitir o registro manual de informações adicionais, tais como ocorrências, observações, lições aprendidas etc.

6 CALIBRAÇÃO DO SISTEMA DE INSPEÇÃO

6.1 De acordo com o Doc 8071, Volume I (ICAO, 2018), todos os equipamentos utilizados para calibração, teste ou manutenção de auxílios à navegação aérea devem ser sujeitos a checagens regulares de calibração e os procedimentos de calibração e seus registros devem ser devidamente documentados.

6.2 Procedimentos de calibração dos sistemas de navegação e voo do UAS deverão ser verificados rotineiramente, de acordo com as recomendações de seus fabricantes.

6.3 Procedimento de verificação da precisão do sistema posicional da aeronave (uAS deve ser feito antes do início de cada missão, a fim de mitigar possíveis problemas causados por interferências ou erros do DGPS/ RTK.

AP






ANEXO B – METODOLOGIAS DE INSPEÇÃO EM VOO COM USO DE UAS

1 ANÁLISE DO ÂNGULO E LARGURA DA RAMPA

1.1 METODOLOGIA DE VARREDURA VERTICAL

1.1.1 A metodologia de varredura vertical é realizada por meio de evoluções verticais do UAS, de modo a registrar todas as transições das luzes do PAPI (Figura 4). Em cada seção de voo, é recomendável realizar, no mínimo, sete passagens, sendo cada passagem considerada uma subida ou uma descida do UAS. O operador deve observar no tablet, por meio das imagens transmitidas pela câmera acoplada ao UAS, a transição das luzes das caixas do PAPI e registrar o evento de transição. O aplicativo de inspeção (desenvolvido pelo IEAv) armazena o dado de posição do UAS no momento do registro e, ao fim da seção, emite o relatório com os resultados calculados.

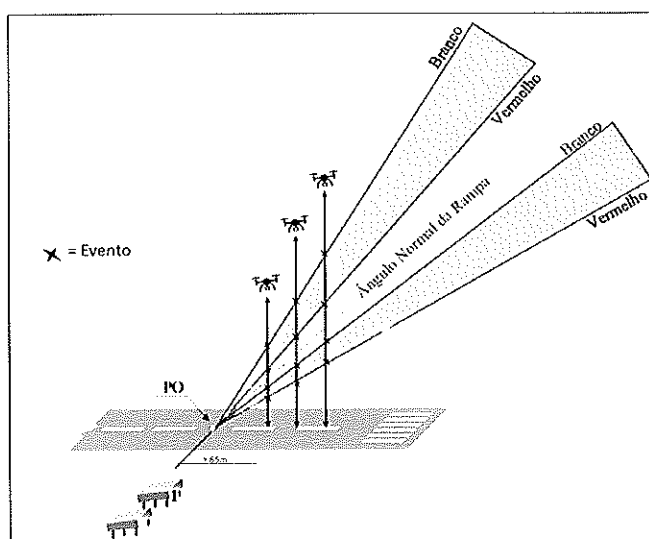


Figura 4 – Metodologia de varredura vertical

1.1.2 Para a realização da metodologia de varredura vertical, é recomendado o uso de filtro azul acoplado à câmera.

1.1.3 As passagens (subidas e descidas) podem ser feitas tanto mantendo-se as trajetórias verticais, como, também, a cada ciclo, com afastamento incremental em relação ao PAPI.

1.1.4 Para permitir uma maior precisão no cálculo dos ângulos dos feixes do PAPI, é recomendável que sejam feitas, no mínimo, cinco passagens por medição.

1.1.5 O resultado tende a melhorar à medida em que se aumenta o número de medições, ou seja, quanto mais medições forem executadas, melhor será o resultado. Contudo, já é possível obter resultados compatíveis com os do GEIV após a realização de três medições.

sf

2 ANÁLISE DA COBERTURA ANGULAR

2.1 METODOLOGIA DE VARREDURA HORIZONTAL INCREMENTAL

2.1.1 A metodologia de varredura horizontal incremental é realizada por meio de evoluções horizontais do UAS. Para a realização do voo, o UAS deve ser posicionado inicialmente a uma altura em que seja possível observar as luzes vermelhas do PAPI. Em seguida, o UAS deve ser afastado lateralmente, mantendo a altura inicial, até que todas as luzes estejam apagadas (posição inicial).

2.1.2 Da posição inicial, é feito o deslocamento lateral do UAS (em sentido perpendicular ao eixo da pista), conforme Figura 5, registrando-se o momento em que todas as luzes do PAPI estejam acesas. O sentido do voo deve ser mantido até que a luz da primeira caixa do sentido do voo apague. A passagem seguinte será feita no sentido contrário à passagem anterior, com posicionamento do UAS um pouco mais afastado do PAPI.

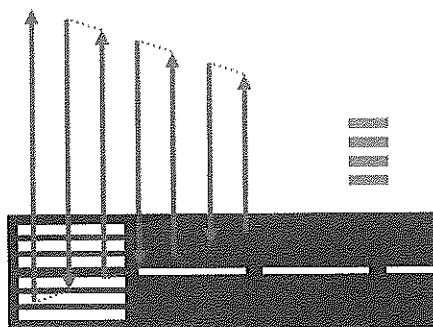


Figura 5 – Varredura horizontal incremental

2.1.3 Os eventos que devem ser registrados devem ser o momento em que a última caixa se acende e, a seguir, o momento em que a primeira caixa se apaga (Figura 6).

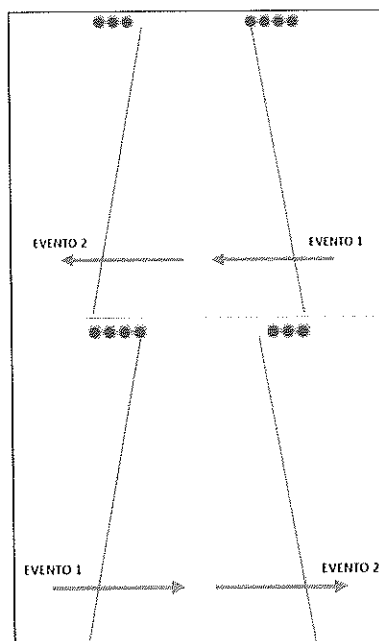


Figura 6 – Eventos da varredura horizontal

[Handwritten signatures and marks]

2.1.4 Para a realização da metodologia de varredura vertical, é recomendado o uso de filtro azul acoplado à câmera e o UAS deve ser posicionado de modo a visualizar somente luzes brancas do PAPI.

2.1.5 Para permitir uma maior precisão no cálculo dos ângulos dos feixes do PAPI, é recomendável que sejam feitas, no mínimo, sete passagens por medição.

2.1.6 O resultado tende a melhorar à medida em que se aumenta o número de medições, ou seja, quanto mais medições forem executadas, melhor será o resultado. Contudo, já é possível obter resultados compatíveis com os do GEIV após a realização de três medições.

2.2 METODOLOGIA DE VARREDURA HORIZONTAL LATERAL INCREMENTAL

2.2.1 A metodologia de varredura horizontal lateral incremental é similar à metodologia de varredura horizontal incremental, exceto que as varreduras são feitas nas caixas 1 e 4 isoladamente (Figura 7).

2.2.2 Após o posicionamento inicial, o UAS é deslocado horizontalmente em sentido perpendicular ao eixo da pista até que a luz da caixa 1 ou 4 (conforme a que estiver sendo analisada) acenda. Em seguida, o UAS é afastado do PAPI e é deslocado em sentido contrário ao deslocamento anterior, até que a luz do PAPI apague.

2.2.3 Similar às demais observações, quanto maior o número de leituras, melhor será o resultado obtido.

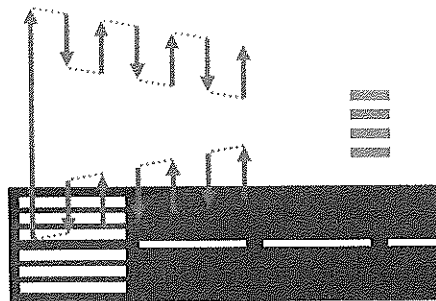


Figura 7 – Varredura horizontal incremental do feixe lateral

[Assinaturas manuscritas]

ANEXO C – PROPOSTAS DE OPERACIONALIZAÇÃO

Durante o projeto, algumas alternativas foram estudadas para a operacionalização da UAS para inspeção em voo de PAPI.

Tais alternativas podem ser aplicadas gradualmente, servindo de base para a política futura do DECEA nesta atividade.

1 UTILIZAÇÃO DO UAS PELO GEIV PARA INSPEÇÃO DE PAPI

1.1 Inicialmente, o UAS pode ser empregado pelo GEIV, com sua aplicabilidade sendo gradualmente incrementada. Recomenda-se que a aplicação do UAS comece por voos pré inspeção, a fim de verificar a configuração do PAPI a ser avaliado. Esta utilização já apresenta vantagens ao reduzir a necessidade de diversas passagens para correção do sistema, antes da sua aprovação.

1.2 Com o nível de confiança no processo, o UAS pode começar a ser empregado em inspeções periódicas ou, ainda, para estender o tempo entre estas inspeções. Por exemplo, para as inspeções de auxílios eletrônicos, o Doc 8071 Volume I (ICAO, 2018), no item 1.15.16, prevê a extensão do tempo entre as inspeções periódicas conforme o seguinte:

“1.15.16 If a test/inspection is not conducted prior to the expiration of the appropriate time window, various actions may be considered:

a) extension of the expiration after engineering evaluation and/or ground maintenance reinforcement;”

1.3 A operacionalização desta proposta permitiria centralizar a realização da inspeção com o uso do UAS, o que traz uma vantagem em relação à doutrina operacional, ao treinamento e centralização da capacitação de pessoal e à logística (uma vez que não seria necessário distribuir peças de reposição e contratos de manutenção para os UAS).

1.4 A desvantagem da proposta é que a realização de uma inspeção, obrigatoriamente, exigiria o deslocamento de aeronave do GEIV, reduzindo a vantagem econômica do uso do UAS para a inspeção do PAPI. Outra desvantagem é que, em localidades que possuem ILS instalado, o PAPI é correntemente inspecionado em conjunto com o ILS. Assim, a inspeção com o UAS obrigaria o GEIV a realizar um pouso que, normalmente, não seria realizado.

2 UTILIZAÇÃO DO UAS PELOS REGIONAIS

2.1 Outra possibilidade é a aquisição de UAS para distribuição entre os Regionais. Para operacionalizar esta proposta, além da aquisição dos UAS, seria necessário o treinamento de pessoal técnico destas Organizações para a condução das inspeções.

2.2 Da mesma forma que a proposta presente no item 1 deste Anexo, a aplicação do UAS nas inspeções poderia se dar de maneira gradativa, iniciando como apoio à engenharia, a fim de verificar o ajuste do PAPI antes de uma inspeção de homologação e das inspeções periódicas, passando a ser aplicado em inspeções periódicas e/ou para aumentar o tempo entre tais inspeções.

2.3 Outros itens de inspeção do PAPI, não incluídos no escopo do projeto, como a verificação da cobertura nominal e da liberação de obstáculos, necessitariam continuar sendo realizados pelo GEIV ou, substituídos por outras metodologias, não pesquisadas no Projeto.

2.4 A vantagem desta proposta dá-se pela flexibilidade e agilidade que ela pode trazer, uma vez que o Regional passaria a gerenciar as inspeções dos aeródromos sob sua responsabilidade, desonerando o GEIV (permitindo, assim, que o GEIV concentre suas energias nas inspeções de auxílios à navegação e procedimentos IFR).

2.5 A desvantagem reside na fragmentação do serviço, o que exigiria fortes ações doutrinárias para manter o padrão operacional, bem como a dificuldade logística de se manter uma rede de peças sobressalentes e serviços de manutenção para os UAS.

3 DESCENTRALIZAÇÃO DA INSPEÇÃO DE PAPI PARA O AAL

3.1 A terceira proposta estudada foi a utilização do UAS para a inspeção do PAPI pelo próprio Administrador Aeroportuário Local (AAL).

3.2 Dessa forma, a responsabilidade de adquirir o UAS, treinar e manter os seus inspetores e o cuidado com a logística para a manutenção do UAS recairia sobre o AAL.

3.3 Esta proposta aparenta ser a mais ágil, uma vez que o serviço de inspeção estaria nas mãos do próprio mantenedor, sem a delegação da responsabilidade de supervisionar tal serviço, o que continuaria com o GEIV.

3.4 O AAL poderia ele mesmo realizar a atividade de inspeção ou, ainda, contratar empresas especializadas.

3.5 A desvantagem desta aplicação também se volta à questão da doutrina operacional causada pela fragmentação do serviço, assim como no item 2.5.

4 PROCESSO DE INSPEÇÃO DE PAPI COM O USO DE UAS

4.1 É do entendimento do Grupo de Trabalho que, apesar da descentralização da execução, o controle e validação das inspeções deveria continuar a cargo do GEIV, independentemente da modalidade de implementação das inspeções de PAPI com o uso de UAS escolhida.

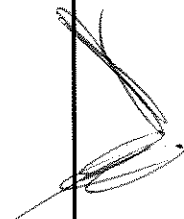

4.2 Para tal, seria necessário o desenvolvimento de um processo de submissão, análise e homologação de inspeções.

4.3 Essencialmente, o processo deverá incluir:

- a) O cadastro de inspetores (sejam eles pilotos inspetores do GEIV, especialistas e técnicos dos Regionais, técnicos ligados aos AAL ou empregados de uma empresa particular), com os requisitos mínimos de capacitação, treinamento inicial e recorrente e de manutenção técnica;

NOTA: o cadastro de pilotos de UAS já é regulamentado pela ICA 100-40 (DECEA, 2020), não sendo necessário o desenvolvimento de requisitos específicos para tal.

- b) O cadastro de equipamentos utilizados na inspeção, incluindo o UAS e seus subsistemas e o sistema de coleta e tratamento de dados. Este sistema poderá ser desenvolvido por uma empresa contratada pelo DECEA e disponibilizado para utilização, mediante contrato de concessão, com base no sistema desenvolvido no âmbito deste Projeto.
- c) O envio dos dados coletados na inspeção, na forma de Relatório de Inspeção;
- d) A análise e critérios de aprovação do Relatório de Inspeção (recomenda-se a análise de cumprimento de requisitos ao invés da análise do resultado em si);
- e) O arquivamento dos Relatório de Inspeção; e
- f) A supervisão dos serviços, por parte do DECEA, na forma de protocolos de inspeção (à semelhança dos protocolos o USOAP).

ANEXO D – EXEMPLO DE CARTA DE ACORDO OPERACIONAL

**MINISTÉRIO DA DEFESA
COMANDO DA AERONÁUTICA
INSTITUTO DE CONTROLE DO ESPAÇO AÉREO**

ATA

Ata celebrada para estabelecer as condições operacionais a fim de permitir a realização de campanha de inspeção em voo com uso de aeronave não tripulada conduzida pelo Grupo Especial de Inspeção em voo (GEIV), pelo Instituto de Controle do Espaço Aéreo (ICEA) e pelo Instituto de Estudos Avançados (IEAv), do Comando da Aeronáutica (**Equipe UAS**), em coordenação com Administração Aeroportuária Local, da Infraero (**EPTA-UL**).

Nos termos desta Ata, a **Equipe UAS** compromete-se a:

-) Observar os procedimentos de prevenção de FOD ao transitar na área de movimento de SBUL;
- a) Não utilizar nenhum tipo de cobertura enquanto na área de movimento de SBUL;
- b) Cumprir, fielmente, as autorizações e instruções da TWR-UL, referentes ao voo da aeronave não tripulada;
- c) Realizar o voo UAS somente dentro dos perfis de voo coordenados com o EPTA-UL e com a TWR-UL, constantes no Anexo I a esta Ata;

NOTA: Em caso de necessidade da realização eventual de voo com perfil diferente do estabelecido no Anexo I, a Equipe UAS deverá coordenar com a TWR-UL, a qual poderá autorizar, de acordo com as condições de tráfego no momento do voo e considerando a prioridade dada às aeronaves tripuladas.

- d) Realizar, com antecedência de uma hora, brifim com a equipe de serviço da TWR-UL por meio do telefone [REDACTED].

NOTA: No brifim, deverão ser informados a hora prevista para início, a duração da atividade, o número de participantes, o meio de contato alternativo (celular) para falha de comunicações e a descrição das atividades.

- e) Coordenar com a TWR-UL, por meio de rádio UHF (canal 03), o acesso à área de pista;
- f) Chamar a TWR-UL na frequência VHF 118.80 MHz antes da decolagem da aeronave não tripulada mantendo contato bilateral constante nesta frequência durante a realização das atividades.

A small handwritten mark or signature in the bottom right corner of the page.

A larger handwritten signature or mark in the bottom right corner of the page.

- g) Somente realizar o voo em condições meteorológicas de modo que seja possível manter a RPA constantemente no alcance visual do piloto, evitando o ingresso deste em formações que restrinjam a visualização do equipamento.
- h) Interromper imediatamente o voo da RPA e informar à TWR-UL no caso de ocorrência de condições meteorológicas adversas ao voo da RPA.
- i) Não permitir que a RPA se aproxime de pessoas e veículos não participantes do ensaio RPA ou, ainda, de aeronaves tripuladas, em voo ou em solo.
- j) Interromper, imediatamente, o voo da RPA, se assim orientado pela TWR-UL, informando quando a RPA estiver no solo e a Equipe RPA estiver afastada da RWY.

NOTA: Será considerado o afastamento da RWY quando a Equipe RPA estiver a uma distância igual ou superior à dos pontos de espera da RWY.

Nos termos desta Ata, a **EPTA-UL** compromete-se a:

-) Autorizar o ingresso e início da atividade do UAS, em coordenação com tráfego aéreo local;
-) Informar à Equipe UAS do estimado de chegada de aeronave com antecedência de 10 minutos em relação ao ETA, solicitando a interrupção das atividades e saída da Equipe da área de manobras;
- a) Informar à Equipe UAS do início de táxi de aeronave no pátio, solicitando a interrupção das atividades e saída da Equipe da área de manobras;
- b) Fornecer apoio, na medida do possível, para deslocamento da Equipe UAS na área de movimento do aeródromo.

As concordam com os termos acima. Casos não previstos serão resolvidos taticamente entre os envolvidos na operação.

(a) [Redacted]
Gerência – TAUL

(b) [Redacted]
Coordenador da Campanha UAS

(c) [Redacted]
Superintendente SBUL em exercício

Handwritten signatures and initials are present on the right side of the page, including a large signature at the bottom right and several smaller ones above it.

ANEXO I

O voo da aeronave não tripulada será realizado dentro da área circular com centro na cabeceira da pista servida pelo PAPI, com raio de 100 metros e altura de 50 metros.

O perfil de voo compreende três manobras:

-) Deslocamento vertical: a partir da cabeceira da pista, a aeronave não tripulada é elevada até uma altura em que seja possível observar a transição da última caixa do PAPI da luz vermelha para a luz branca, descendo em seguida. Esta manobra é repetida tantas vezes quanto for necessário para a Equipe UAS coletar os dados da inspeção do PAPI.
- a) Deslocamento longitudinal à pista: A partir da cabeceira da pista, a RPA é elevada a uma altura de cerca de 5 a 15 metros e deslocada longitudinalmente próximo ao eixo da pista, até ser possível observar a transição da última caixa do PAPI da luz vermelha para a luz branca. Em seguida, a RPA é conduzida de volta à vertical da cabeceira. Esta manobra é repetida tantas vezes quanto for necessário para a Equipe UAS coletar os dados da inspeção do PAPI.
- b) Deslocamento lateral à pista: A partir da cabeceira da pista, a RPA é elevada a uma altura de cerca de 5 a 15 metros e deslocada perpendicularmente ao eixo da pista, até ser possível observar a última caixa do PAPI apagar. Em seguida, a RPA é conduzida de volta à vertical da cabeceira e deslocada perpendicularmente ao eixo da pista, em sentido contrário ao primeiro, até ser possível observar a primeira caixa do PAPI apagar. Esta manobra é repetida tantas vezes quanto for necessário para a Equipe UAS coletar os dados da inspeção do PAPI.



Figura 8 - Área de operação da aeronave não tripulada (THR 04)

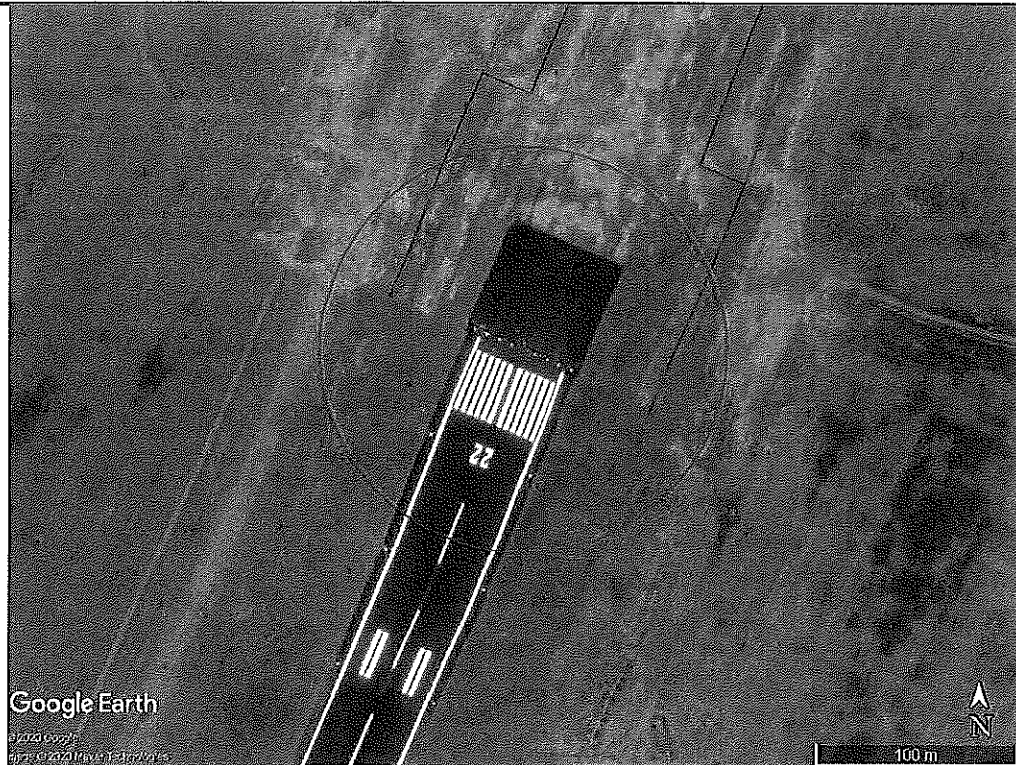


Figura 9 - Área de operação da aeronave não tripulada (THR 22)

[Handwritten signatures and initials]

[Handwritten initials]

[Handwritten signature]

ANEXO E – SUGESTÕES DE EXTENSÃO DE PESQUISA

Durante a pesquisa da aplicação do UAS para inspeção em voo do PAPI, foram identificadas oportunidades de pesquisa para complementar a realizada pelo ICEA. Estas propostas não pretendem encerrar o assunto e não necessitam ser conduzidas pelo ICEA.

1 DESENVOLVIMENTO DE UM UAS ESPECÍFICO PARA APLICAÇÕES EM SÍTIO AEROPORTUÁRIO

1.1 Um UAS voltado para as aplicações em sítio aeroportuário poderia eliminar a burocracia de solicitação para empresas externas para o desbloqueio de no-fly zone. Este UAS poderia ter um processo de liberação inicial, ligado ao cadastro no SARPAS tanto do UAS quanto da organização responsável pelo seu uso no sítio aeroportuário, com o carregamento de documentos comprobatórios do uso constante.

2 UTILIZAÇÃO DO UAS PARA ANÁLISE DO POSICIONAMENTO DAS CAIXAS DO PAPI

2.1 Esta seria uma aplicação reversa da inspeção em voo: a partir da determinação da posição ótima do plano da transição do feixe, com base nas informações geográficas da cabeceira da pista e do PO.

2.2 Uma aplicação alternativa desta metodologia é a utilização desta para a determinação dos pontos ótimos para a localização das caixas do PAPI para a instalação inicial do sistema.

3 APLICAÇÃO DE INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL (AI) PARA LEITURA AUTOMÁTICA DAS TRANSIÇÕES DAS LUZES DO PAPI

3.1 A AI pode ser utilizada para otimizar as missões de inspeção, realizando a identificação e registro dos eventos de transição, reduzindo ainda mais o tempo de voo da aeronave.

4 DESENVOLVIMENTO DE FILTROS PARA AS LENTES DO SISTEMA ÓTICO DO UAS PARA IDENTIFICAÇÃO DA TRANSIÇÃO DAS LUZES DO PAPI

4.1 A pesquisa de filtros específicos (apropriados ao comprimento de onda da luz do PAPI) é uma oportunidade para aprimorar a inspeção com o UAS, auxiliando a definir melhor o momento correto da transição das luzes do PAPI.

4.2 A pesquisa pode incluir materiais polarizados e especificar filtros para a varredura vertical e para a varredura horizontal.

sp

