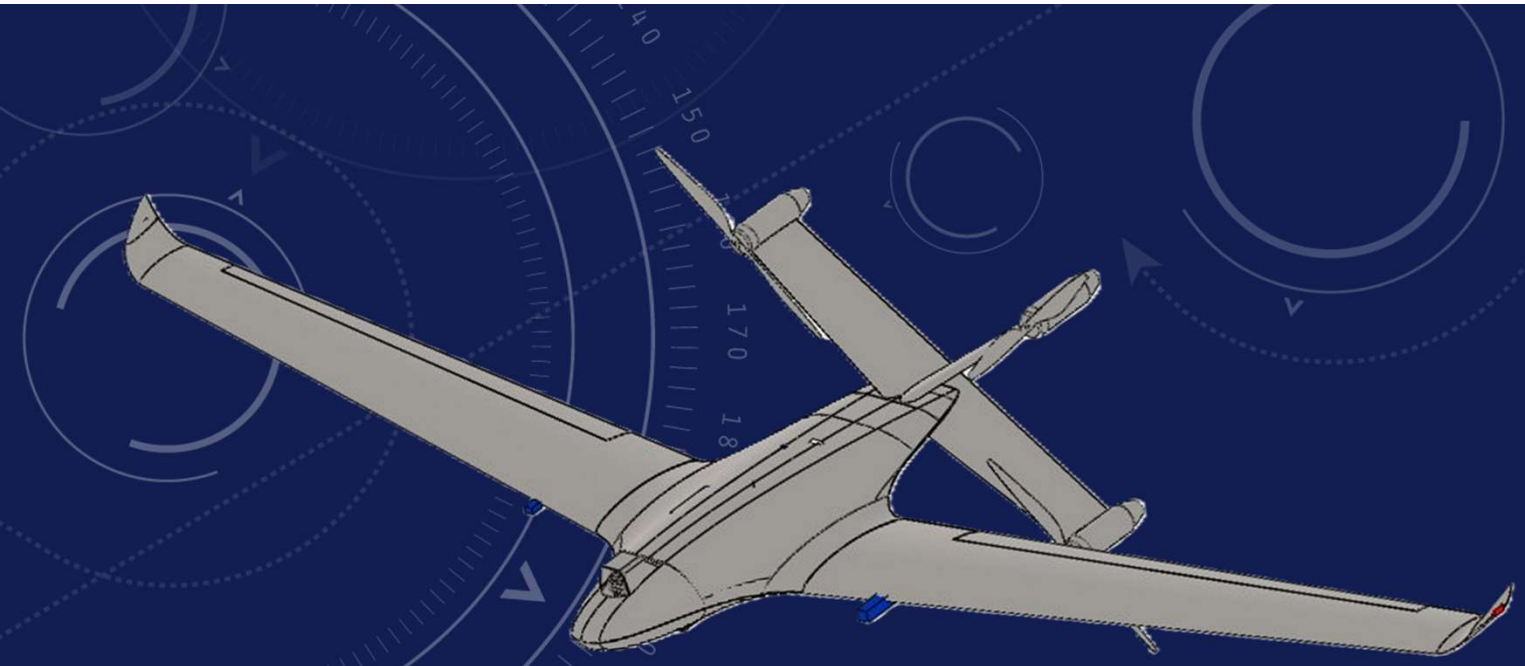


UNIVERSIDADE
BEIRA INTERIOR

APRESENTAÇÃO FINAL

PROJETO DE AERONAVES 2025/2026

DOCENTE: PROFESSOR DOUTOR PEDRO VIEIRA GAMBOA

DISCENTES: GRUPO E

EQUIPA E DISTRIBUIÇÃO DE TAREFAS

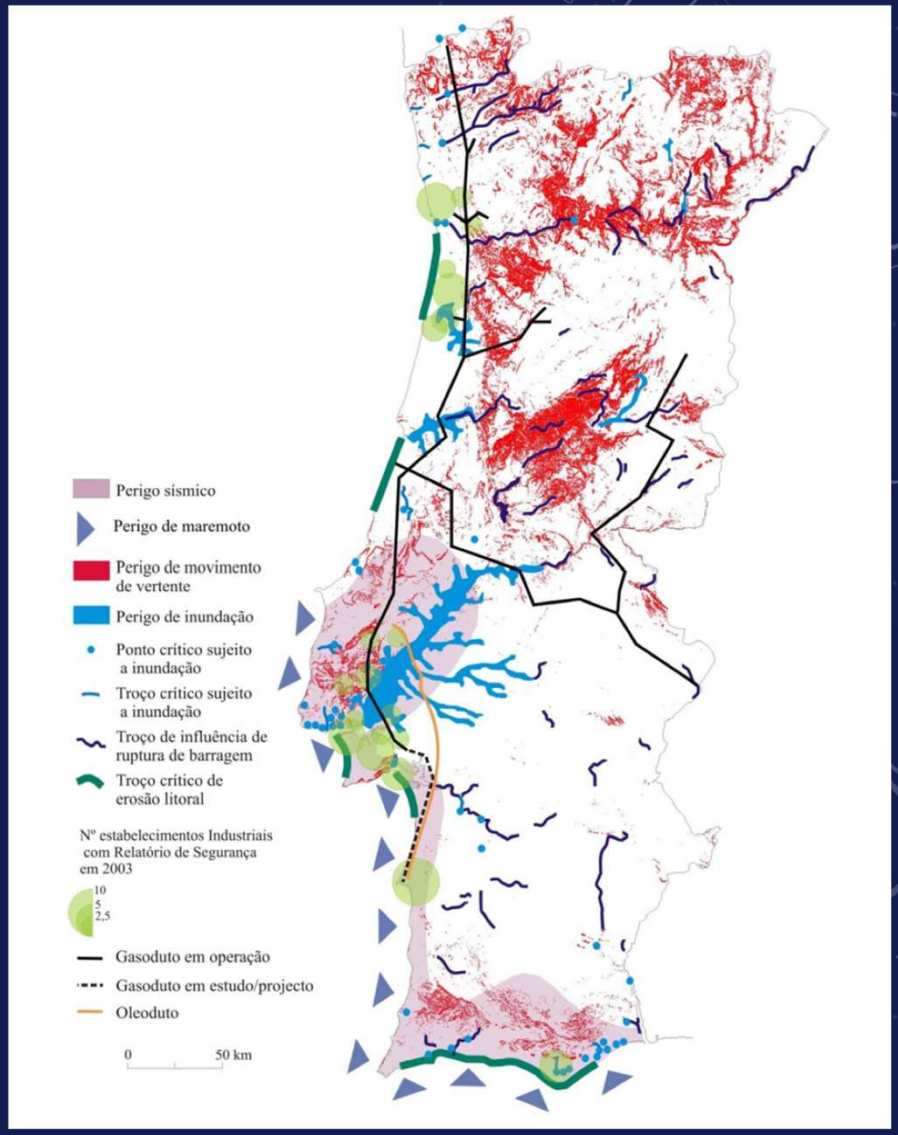
- **Layout** – Pedro Reis Nº 51612
- **Aerodinâmica/Estabilidade** - Vladyslav Berezyak Nº 51983
- **Propulsão/Performance** – Francisco Gonçalves Nº 52259
- **Estruturas/Materiais** – Eduardo Santos Nº 51754
- **Sistemas/CG** – Frederico Madeira Nº 52537
- **Manufatura/Custos** – Bruna Silva Nº 51799



Cenário de Operação

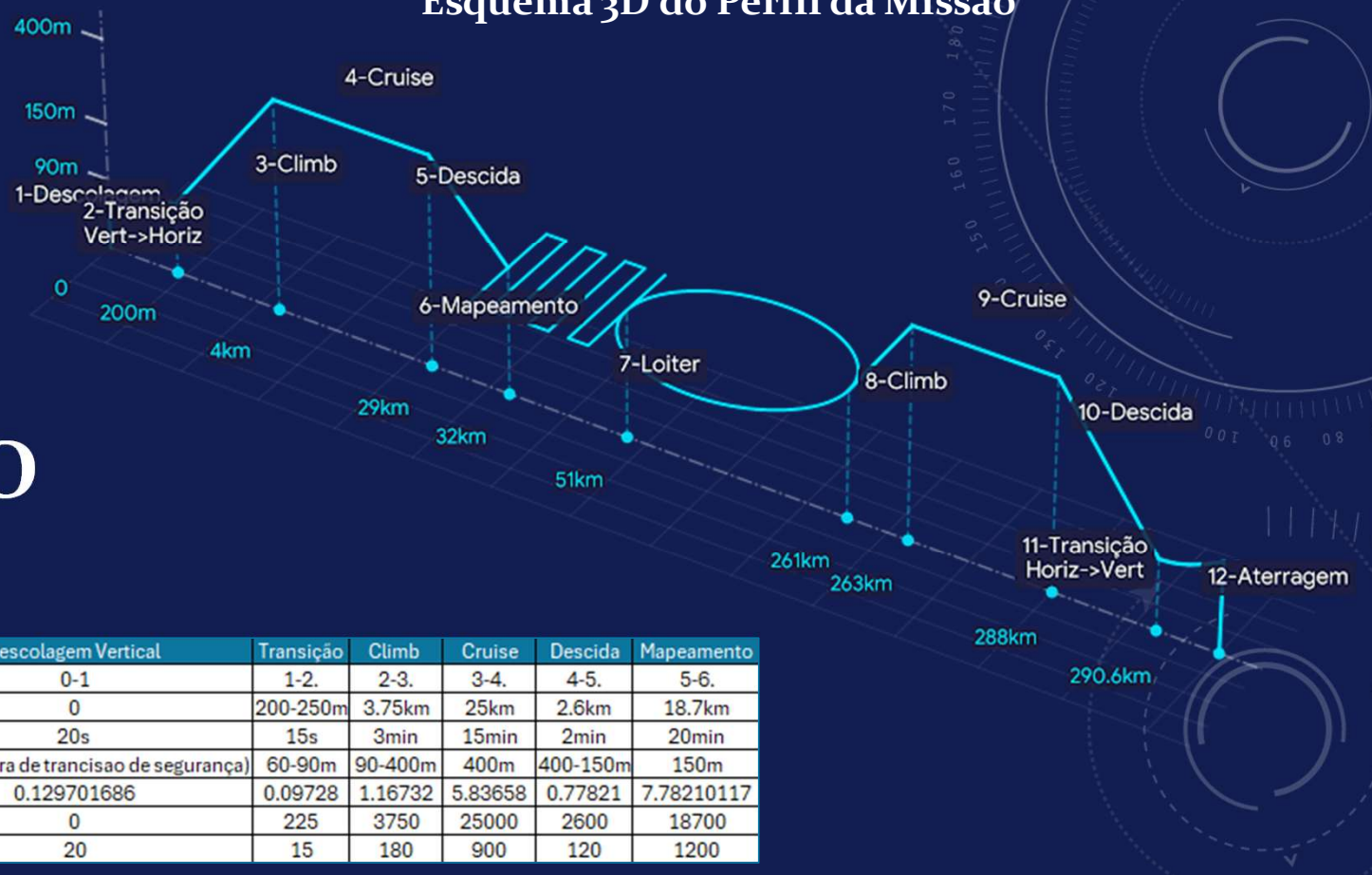
Tipologias de terreno que se enquandram no teatro de operação:

- Centros Urbanos
- Zonas Rurais
- Zonas Costeiras
- Margens de Rios



PERFIL DA MISSÃO

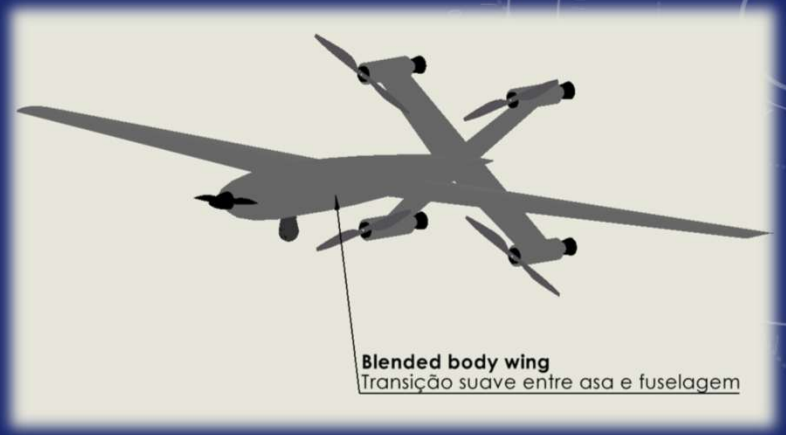
Esquema 3D do Perfil da Missão

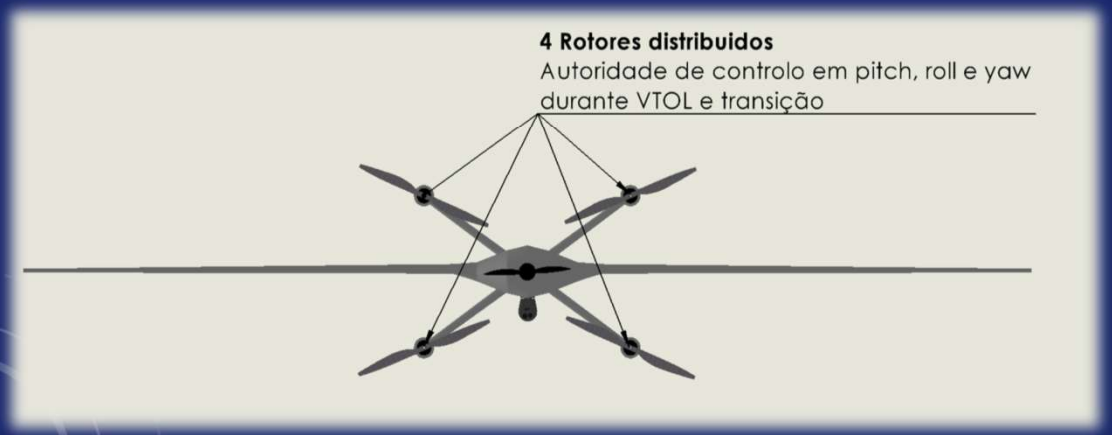


Etapas de percurso	Montagem	Descolagem Vertical	Transição	Climb	Cruise	Descida	Mapeamento
Pontos de percurso	0	0-1	1-2.	2-3.	3-4.	4-5.	5-6.
Distância percorrida	0	0	200-250m	3.75km	25km	2.6km	18.7km
Tempo	<15min	20s	15s	3min	15min	2min	20min
Altitude	0	0-60m(altura de trancisao de segurança)	60-90m	90-400m	400m	400-150m	150m
Distribuiçao de tempo %	5.836575875	0.129701686	0.09728	1.16732	5.83658	0.77821	7.78210117
d(m)	0	0	225	3750	25000	2600	18700
t(s)	900	20	15	180	900	120	1200

LAYOUT NA APRESENTAÇÃO DE CONCEITO DA AERONAVE





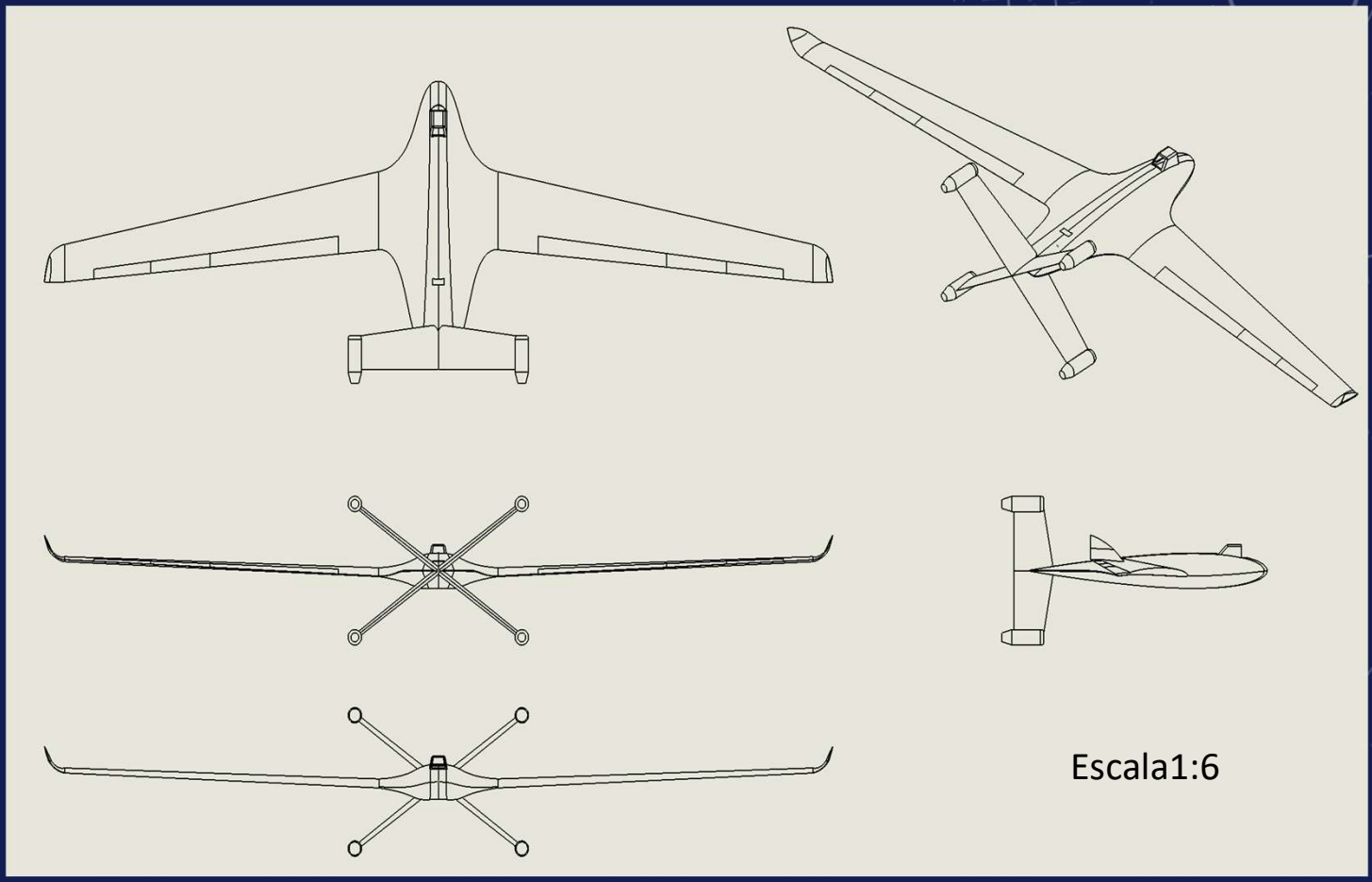




LAYOUT

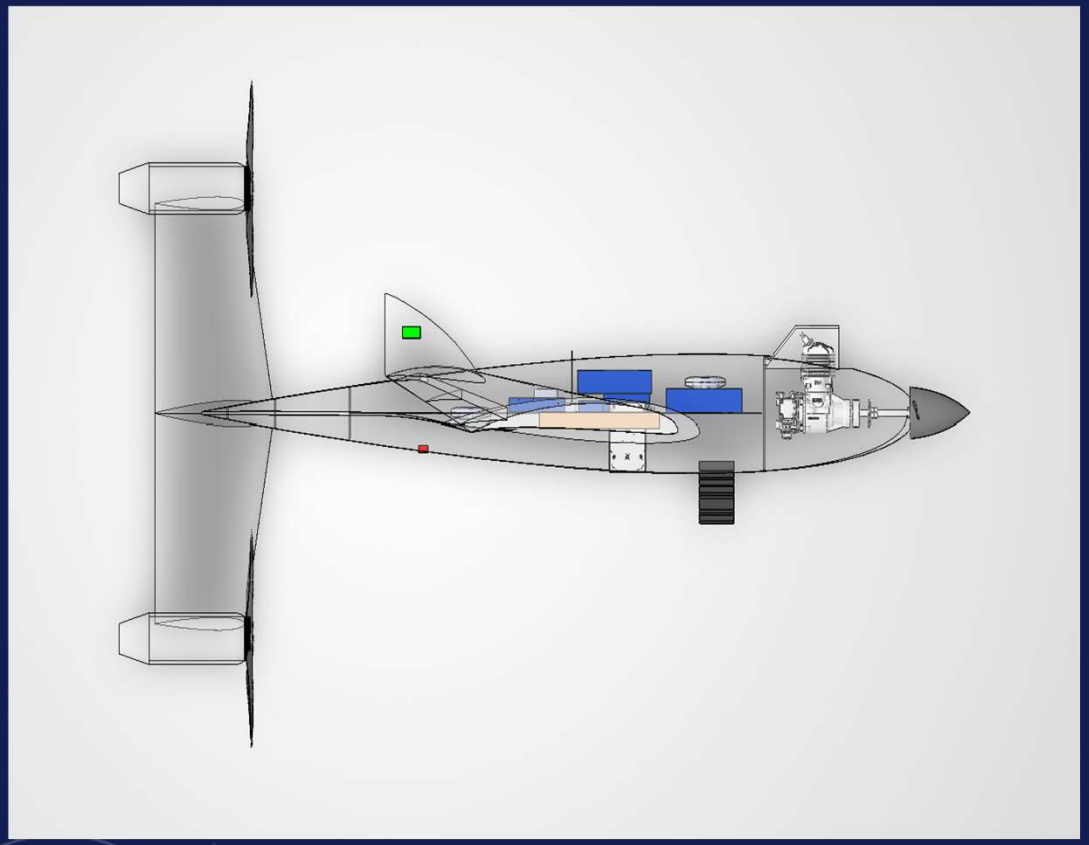
Tabela Resumo da Geometria

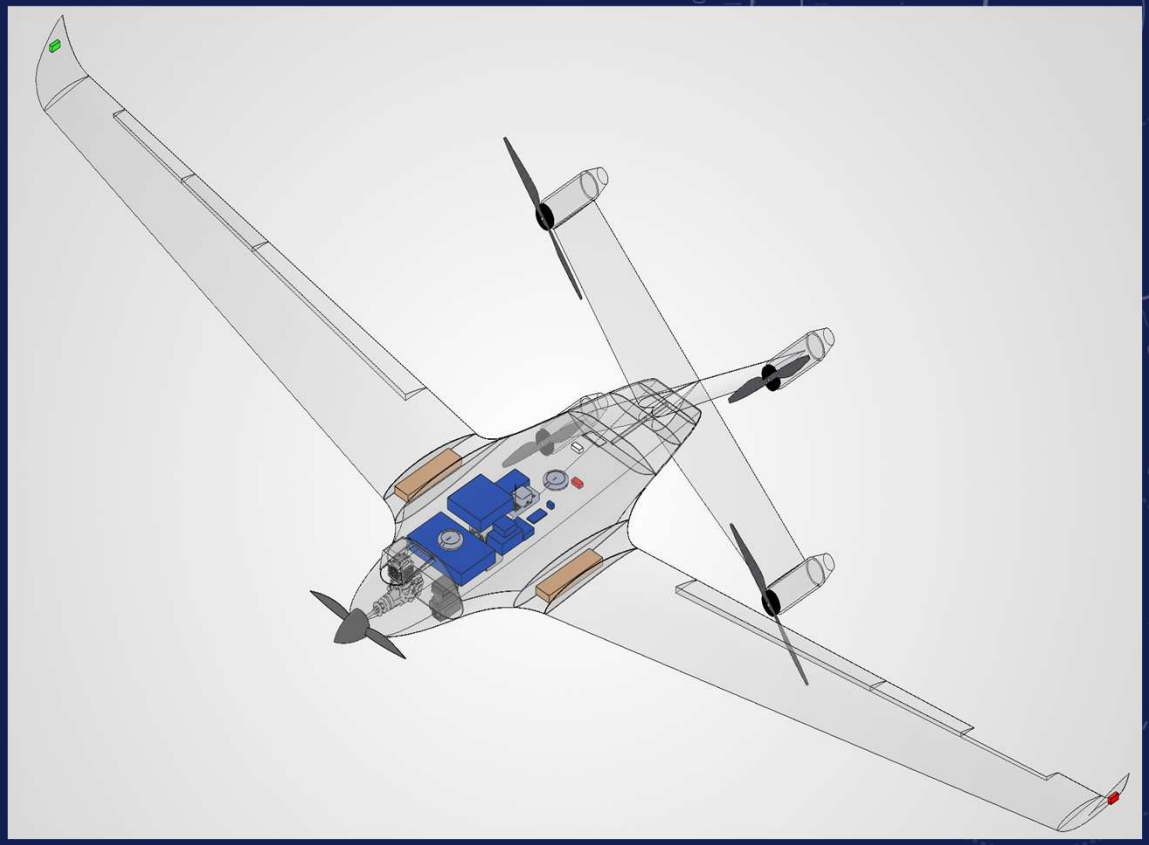
Parâmetro	Valor
Geometria Geral	
Envergadura (b)	3.98 m
Aspect Ratio (AR)	14.47
Diedro	2.4°
Empenagem	
Configuração	X-tail
Envergadura	0.60 m
Sistema de Propulsão	
Motor Principal	Combustão (2-stroke)
Sistema VTOL	4 rotores elétricos
Peso =12.35 Kg	



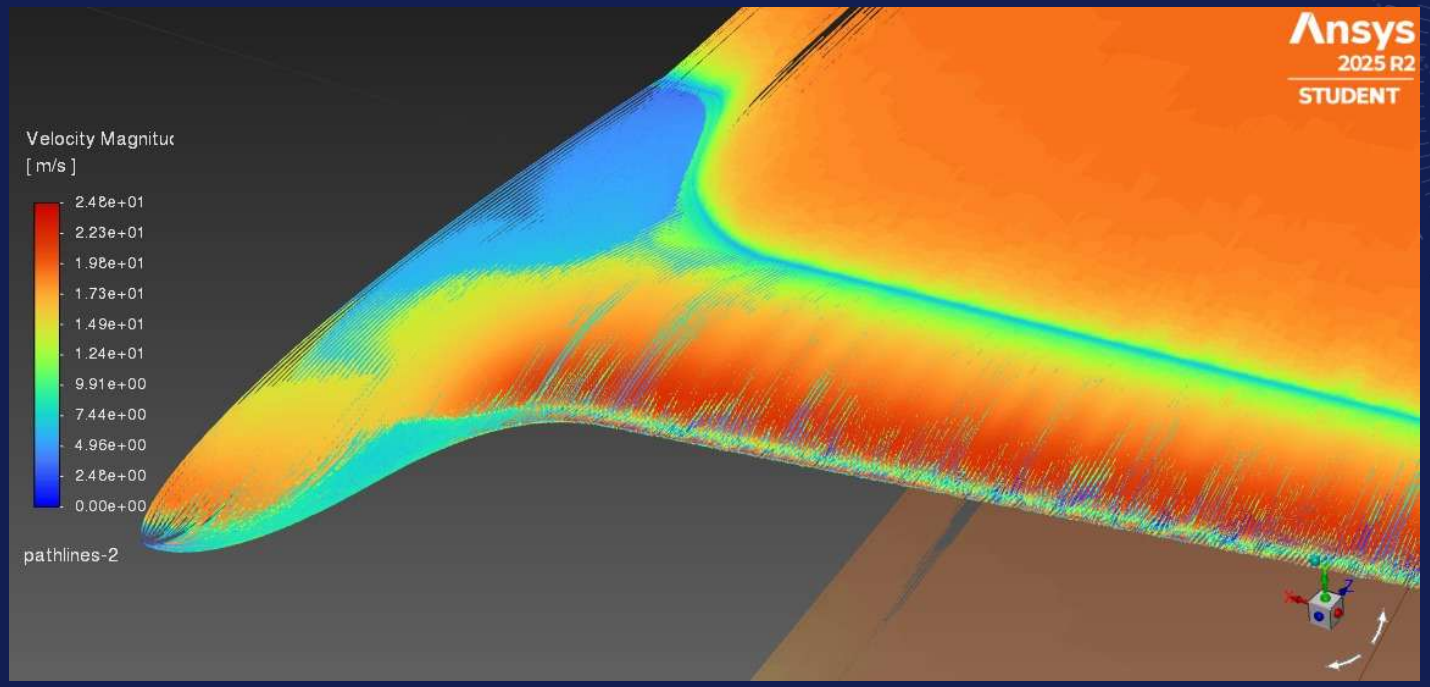
Escala1:6

LAYOUT



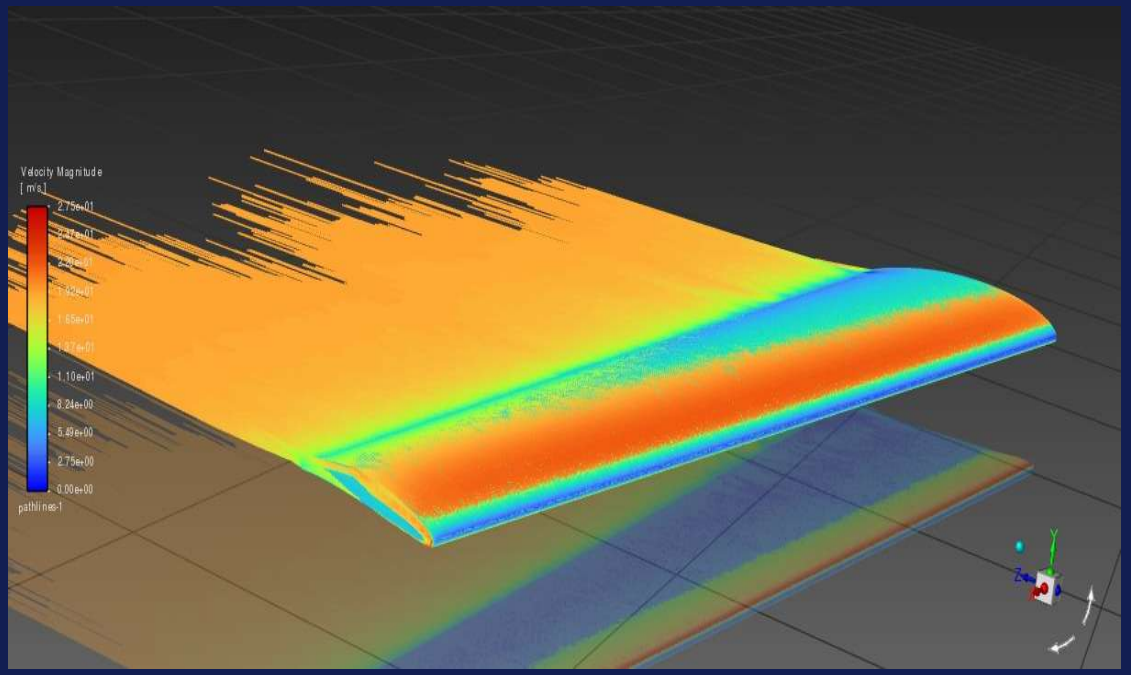


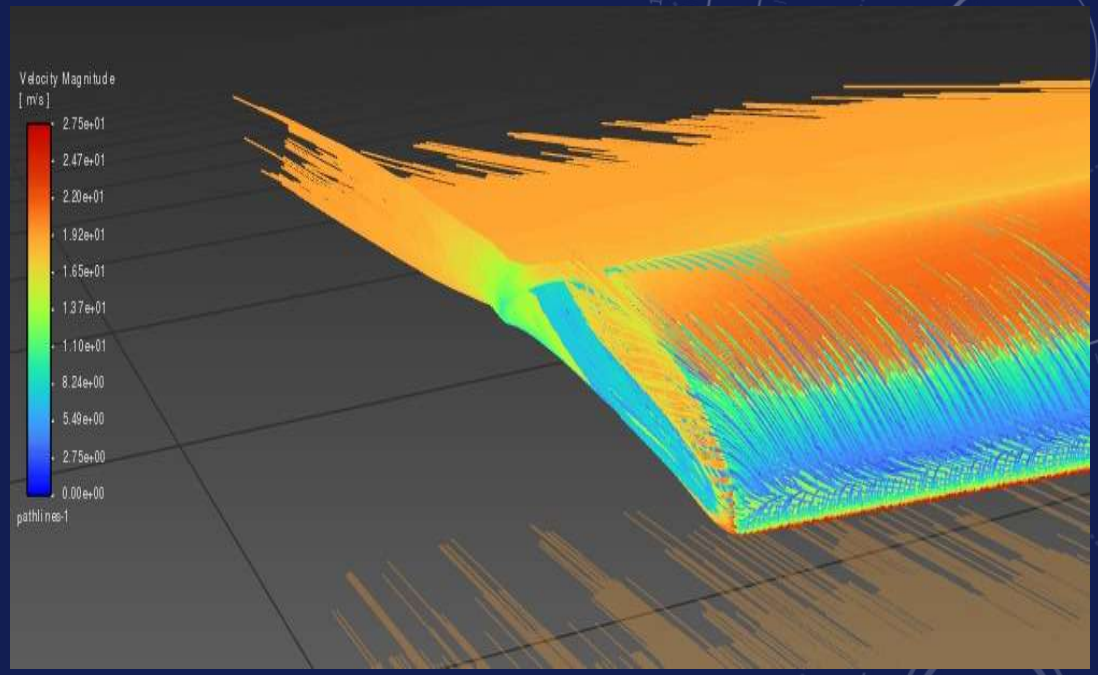
LAYOUT - OTIMIZAÇÃO DA GEOMETRIA DA FUSELAGEM



Parâmetro	Valor
Coeficiente de Sustentação (C_L)	0.177
Eficiência Aerodinâmica (C_L/C_D)	11.93
Regime	Loiter (V = 19.5 m/s)

LAYOUT - OTIMIZAÇÃO DA GEOMETRIA DA ASA





Parâmetro	Sem Winglet	Com Winglet
Coeficiente de Sustentação (C_L)	0.3337	0.4086
Coeficiente de Arrasto (C_D)	0.01850	0.01821
Eficiência Aerodinâmica (C_L/C_D)	18.04	22.23

Categoria	Componente	Marca	Função	Localização Ideal	Quant.	Dimensions L x W x H (mm)	Massa Total (g)	Consumo (W)
Controlo	Cube Red Pro Standard Set	CubePilot	Red Cube + Base + uAvionix ADS-B IN Receiver	Centro de Gravidade (CoG)	1	95x45x30	324	5
Navegação	HerePro GNSS	CubePilot	RTK + Heading	Topo da Fuselagem	2	78(D)x17	202	2
Carga Útil	STARLING	NextVision	360º 3 Axis 40x Zoom + EO/IR + IP54	Nariz Inferior	1	84x82x58	180	10
Carga Útil	Livox Avia	Livox	LiDAR FOV 70x77 NR 450m 720k Point Rate 2cm IP67	Ventre Central	1	91x61x65	498	9
Carga Útil	TRIP 6 SSD	NextVision	Analise de imagem AI (Auto Tracking & Detection)	Perto da Gimbal	1	77x57x29	140	12
Carga Útil	FLYC-300-EC-JON16	Neousys	Analise de nuvem de pontos LiDAR	Central com Fluxo de Ar	1	124x123x30.5	345	25
Rede	GigaBlox	Botblox	Switch	Hub Central de Aviônicos	1	45x45x16	15	0.9
Comunicações	SkyLink 7100	Blue Sky	SATCOM e Rede LTE	Topo da Fuselagem	1	127x203x32	730	7
Comunicações	SC4200 OEM	Silvus	Mesh rádio	Baia de Rádio Lateral	1	92x55x18	122	25
Comunicações	pMDDL900 OEM	Microhard	C2 link	Baia de Rádio Lateral	1	27x51x3	7	4
Comunicações	Crossfire Nano	TBS	RC backup	Baia de Rádio Isolada	1	11x18x11	0.5	0.2
Sensores	CUAV Skye 2	CUAV	Main Pitot Tube 35W Heater	Boom Frontal Nariz	1	102x29.5x28.5	26	35
Sensores	CUAV Skye 2 Nano	CUAV	Secundary Pitot Tube	Borde de Ataque	1	32x23x16.5	15	0.5
Energia	Mauch BEC	Mauch	Regulação	Baia das Baterias	1	60x40x15	50	2
Sensores	BME688	Bosch	Detetor Ambiental AI	Entrada de Ar	1	3x3x1	3	0.01
Sensores	SCD41	Sensirion	Detetor CO2	Entrada de Ar	1	10x10x7	1	0.05



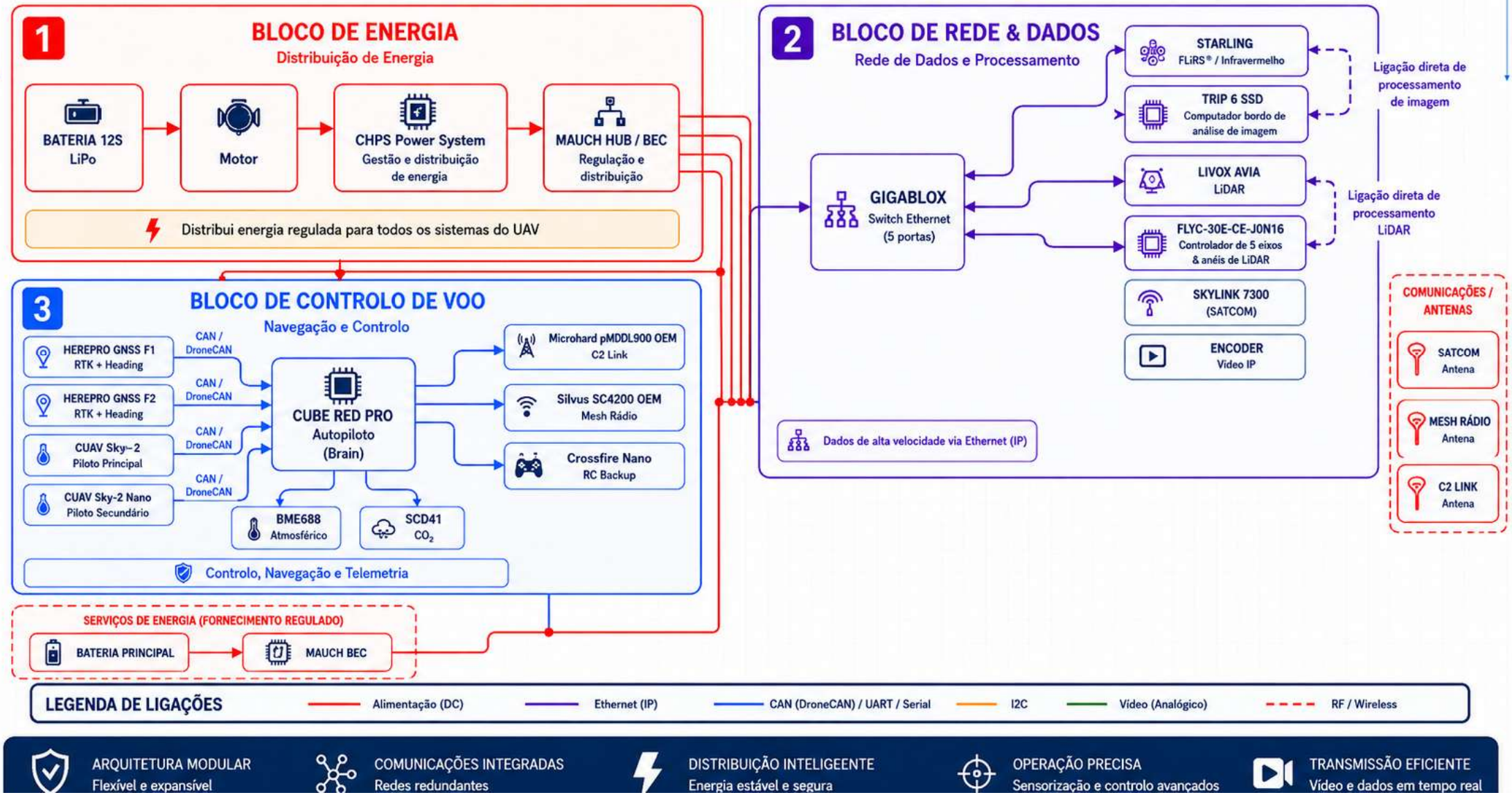
RESUMO DO SISTEMA

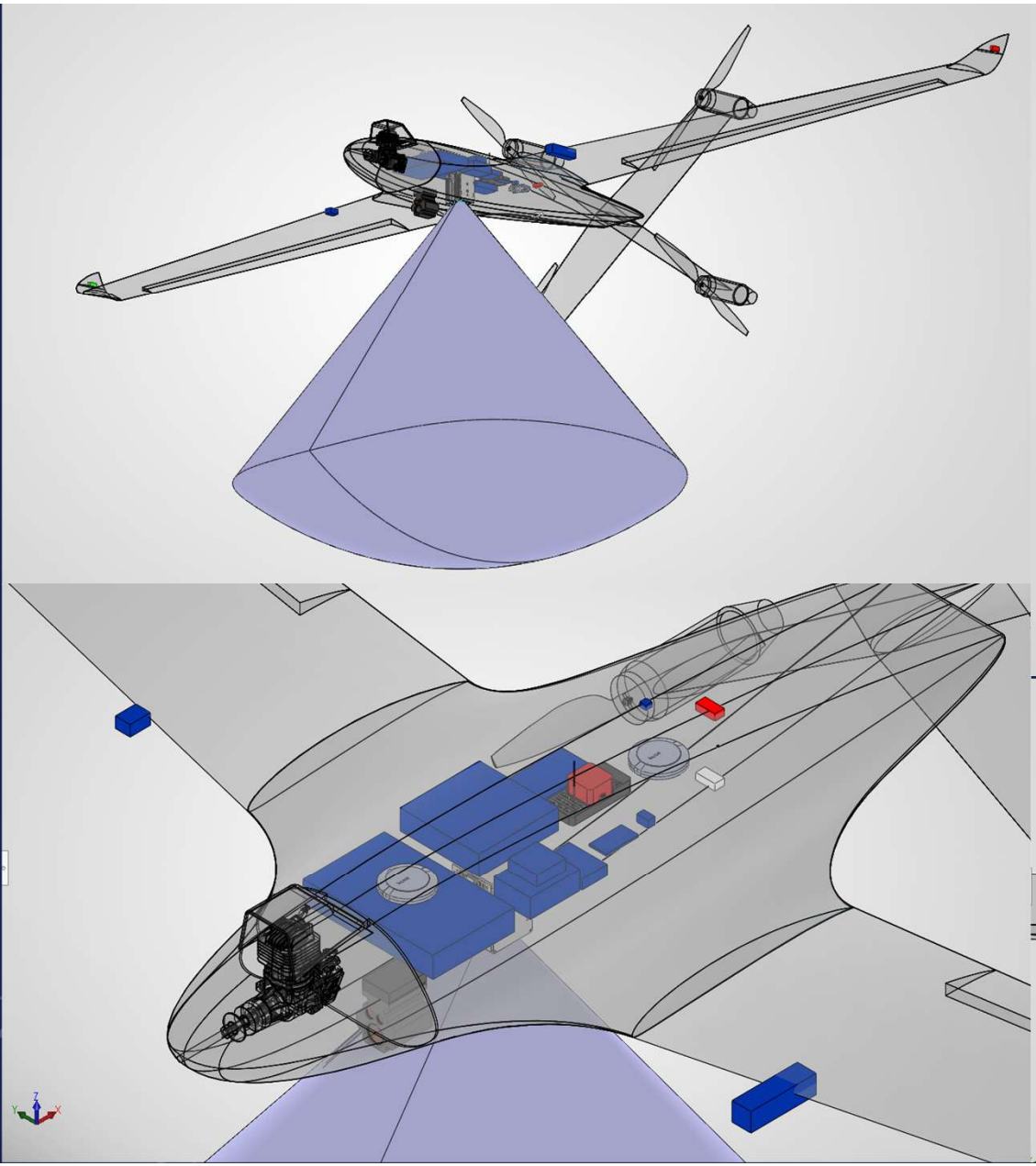
MASSA TOTAL: 2658.5 G (~2,66 KG)

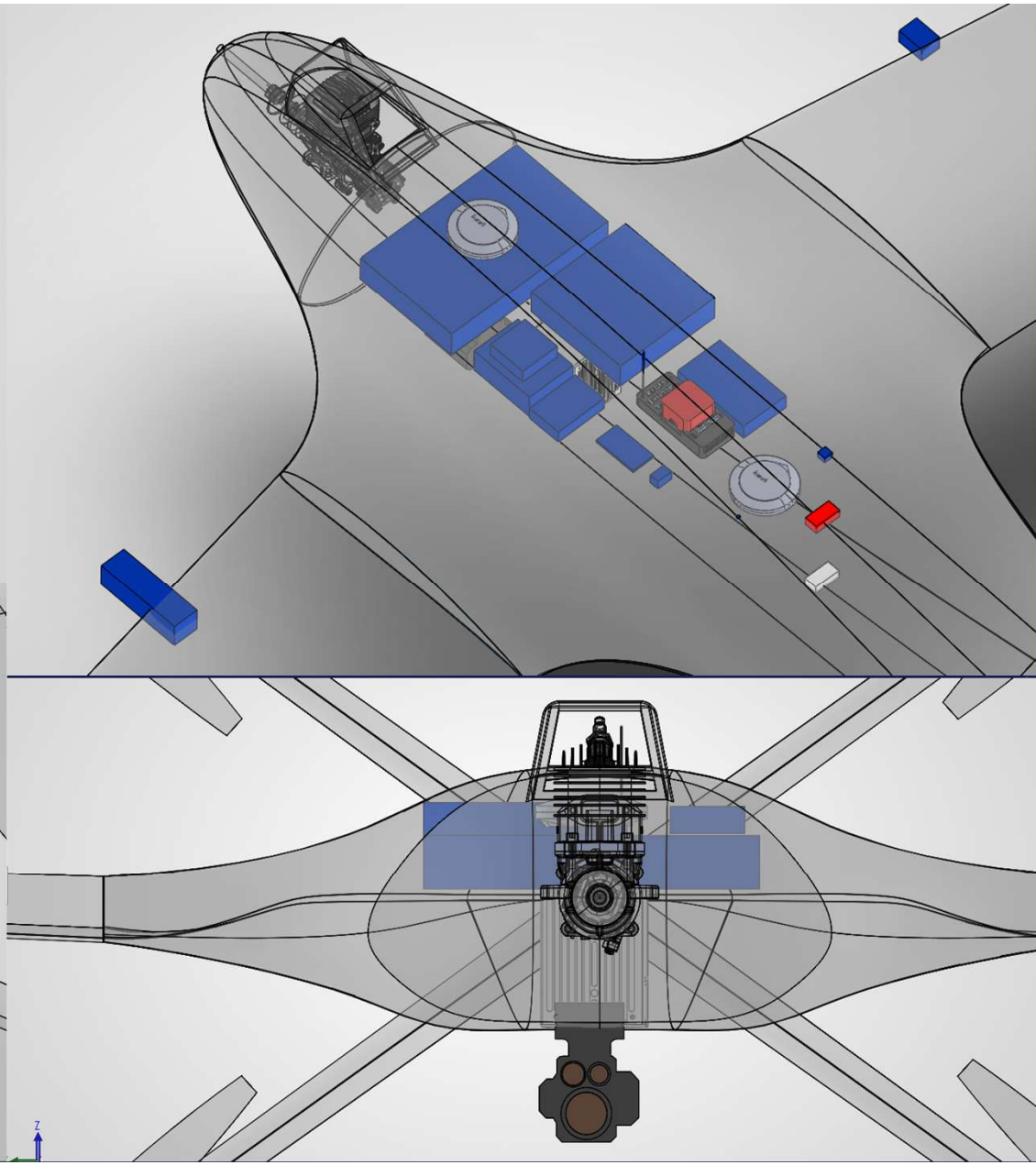
CONSUMO TOTAL: 165,192 W

ARQUITETURA DO SISTEMA UAV

Diagrama técnico dos subsistemas, comunicações e distribuição de energia



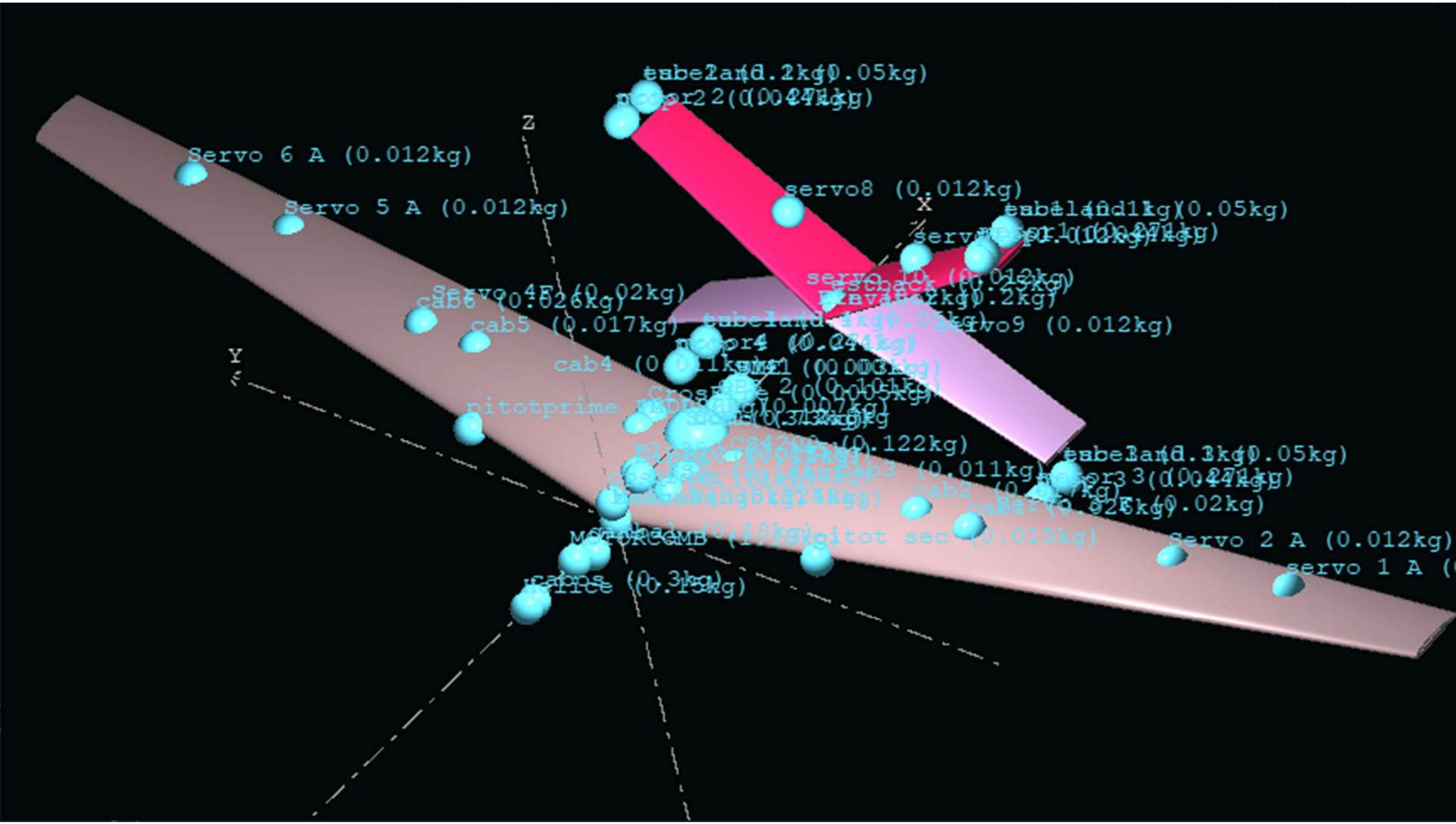




Componente	Massa (Kg)	x_CG_bordo de ataque	y_CG_bordo de ataque	z_CG_bordo de ataque
SISTEMAS E CARGA ÚTIL				
STARLING	0.180	-0.090000	0.000000	-0.025000
Cube Red Pro Standard Set	0.324	0.000000	0.000000	0.000000
HerePro GNSS 1	0.101	0.000000	0.000000	0.050000
GigaBlox	0.015	0.100000	0.000000	0.045000
FLYC-300-EC-JON16	0.345	0.130000	0.040000	0.019000
Livox Avia	0.498	0.120000	0.000000	-0.032000
TRIP 6 SSD	0.140	0.110000	-0.070000	0.019000
Mauch BEC	0.050	0.173000	-0.070000	0.019000
SkyLink 7100	0.730	0.270000	0.000000	0.020000
SC4200 OEM	0.122	0.260000	-0.135000	0.005000
pMDDL900 OEM	0.007	0.250000	0.130000	0.020000
Crossfire Nano	0.001	0.300000	0.130000	0.020000
SCD41	0.001	0.450000	0.000000	0.030000
BME688	0.003	0.450000	-0.010000	0.031000
HerePro GNSS 2	0.101	0.390000	0.000000	0.020000
Main Wing				
Servo 1	0.012	0.462000	-1.582000	0.040000
Servo 2	0.012	0.426000	-1.274000	0.030000
Servo 3	0.020	0.370000	-0.812000	0.000000
Servo 4	0.020	0.370000	0.812000	0.000000
Servo 5	0.012	0.426000	1.274000	0.030000
Servo 6	0.012	0.462000	1.582000	0.040000
Pitot Principal	0.026	0.100000	0.500000	0.000000
Pitot Secundario	0.015	0.100000	-0.500000	0.000000
Cabo 1	0.026	0.300000	-0.791000	0.040000
Cabo 2	0.017	0.300000	-0.637000	0.030000
Cabo 3	0.011	0.300000	-0.406000	0.000000
Cabo 4	0.011	0.300000	0.406000	0.000000
Cabo 5	0.017	0.300000	0.637000	0.030000
Cabo 6	0.026	0.300000	0.791000	0.040000
Parte Superior da Cauda				
Motor 1	0.271	0.790000	-0.540000	0.315000
Prop 1	0.044	0.780000	-0.540000	0.315000
ESC 1	0.100	0.875000	-0.540000	0.315000
Tubeland 1	0.050	0.875000	-0.540000	0.315000
Servo 7	0.012	0.900000	-0.185000	0.110000
Motor 2	0.271	0.790000	0.540000	0.315000
Prop 2	0.044	0.780000	0.540000	0.315000
ESC 2	0.100	0.875000	0.540000	0.315000
Tubeland 2	0.050	0.875000	0.540000	0.315000
Servo 8	0.012	0.900000	0.185000	0.110000
Parte Inferior da Cauda				
Motor 3	0.271	0.790000	-0.540000	-0.315000
Prop 3	0.044	0.780000	-0.540000	-0.315000
ESC 3	0.100	0.875000	-0.540000	-0.315000
Tubeland 3	0.050	0.875000	-0.540000	-0.315000
Servo 9	0.012	0.900000	-0.185000	-0.110000
Motor 4	0.271	0.790000	0.540000	-0.315000
Prop 4	0.044	0.780000	0.540000	-0.315000
ESC 4	0.100	0.875000	0.540000	-0.315000
Tubeland 4	0.050	0.875000	0.540000	-0.315000
Servo 10	0.012	0.900000	0.185000	-0.110000
PROPULSÃO E ENERGIA				
MOTORCOMB	1.183	-0.152000	0.000000	0.000000
Helice	0.150	-0.326000	0.000000	0.000000
Bomba	0.500	0.000000	0.000000	0.000000
Estback	0.250	0.800000	0.000000	0.000000
Cabos	0.300	-0.300000	0.000000	0.000000
ESTRUTURA DA AERONAVE				
Estrutura	3.700	0.292000	0.000000	0.000000
Main Wing	1.576	0.270000	0.000000	0.045000
Parte Superior da Cauda	0.200	0.847000	0.000000	0.136000
Parte Inferior da Cauda	0.200	0.847000	0.000000	-0.136000
Peso total / x,y,z CG	12.822	0.292191	-0.000738	0.006915

$$x_{CG} = \frac{\sum m_i x_i}{M} \qquad y_{CG} = \frac{\sum m_i y_i}{M} \qquad z_{CG} = \frac{\sum m_i z_i}{M}$$

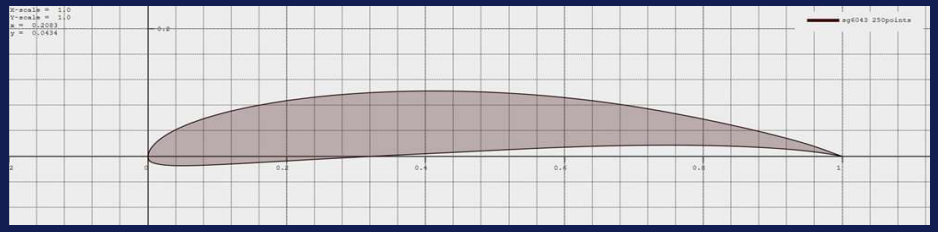
Peso Total = 12.822kg
X_CG = 0.292191 m
Y_CG = -0.000738 m
Z_CG = 0.006915 m


Z
X
Y
Servo 6 A (0.012kg)
Servo 5 A (0.012kg)
servo8 (0.012kg)
servo9 (0.012kg)
cab6 (0.026kg)
cab5 (0.017kg)
cab4
cab2
pitotprime
Servo 2 A (0.012kg)
servo 1 A (

SELEÇÃO DE PERFIL

$$F_i = 0.27\frac{(C_L/C_D)_i}{(C_L/C_D)_{max}} + 0.40\frac{\left(C_L^{3/2}/C_D\right)_i}{\left(C_L^{3/2}/C_D\right)_{max}} + 0.23\frac{(C_{D,\text{fast}})_{min}}{(C_{D,\text{fast}})_i} + 0.10\frac{(C_{L,max})_i}{(C_{L,max})_{max}}$$

Função de mérito Vencedora



Perfil Vencedor SG6043

Score máximo possível = 1.0 (perfil perfeito em todos os critérios)

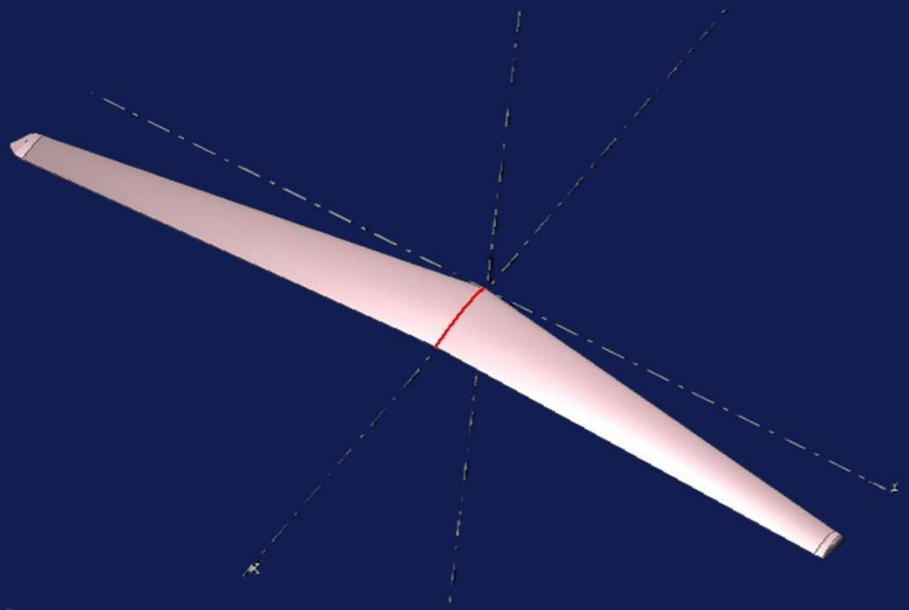
Rank	Perfil	Score	CLmax	CL/CD@α	CL³²CD@α	CD_fast	α_real	CL@α
1	SG6043	0.8547	1.6300	123.59	122.36	0.008760	2.0	0.9801
2	MH115	0.8149	1.6166	114.22	111.21	0.007480	2.0	0.9480
3	E64	0.8029	1.3605	114.81	95.84	0.005310	2.0	0.6969
4	SG6042	0.7808	1.5066	112.87	97.63	0.006480	2.0	0.7483

Resultado Código

Name	Thickness (%)	at (%)	Camber (%)	at (%)
sg6043.dat modified	9.93	32.16	5.53	50.17

Dados Geometricos

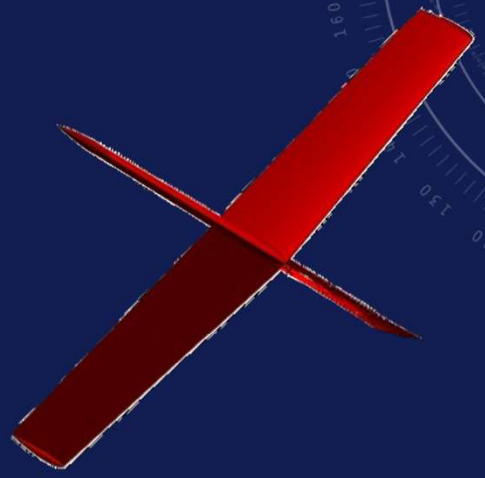
AERODINÂMICA: GEOMETRIA DA ASA



CARACTERÍSTICAS DA ASA	
S [m^2]	**1.095**
Ar	**14.47**
b [m]	3.98
Taper ratio	0.4
c_ root [m]	0.393
c_ tip [m]	0,157
c_aero [m]	0,275
Twist º	-3
Dihedral [º]	2.4
S wg [m^2]	0.00845
Winglet Airfoil	NACA 1312

AERODINÂMICA: PERFIL DAS EMPENAGENS E GEOMETRIA

EMPENAGEM HORIZONTAL	
c [m]	0.175
b/2 [m]	0.6
Sh [m^2]	0.315
Sv [m^2]	0.105
Tilt [º]	-0.2
Braço	0.508m
Airfoil	NACA0014



Vista das Empenagens

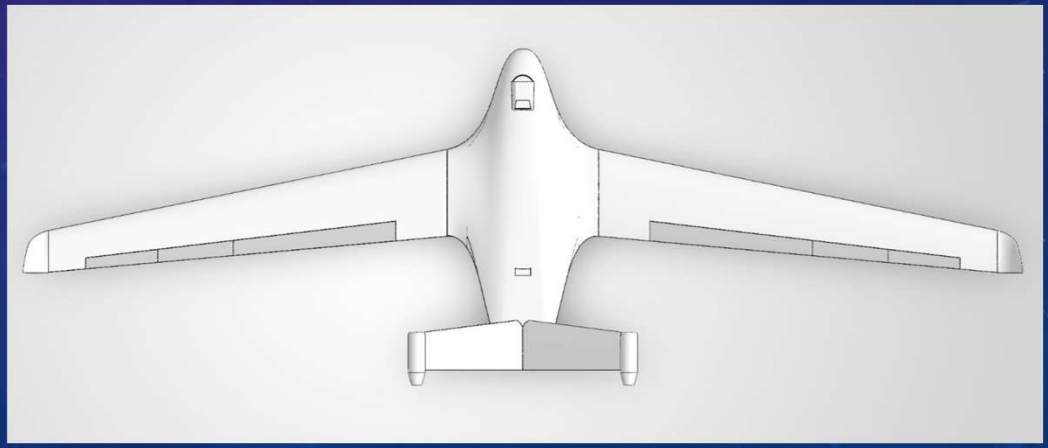
Vh	**0.531**
Vv	0.012

AERODINÂMICA: SUPERFÍCIES DE CONTROLO

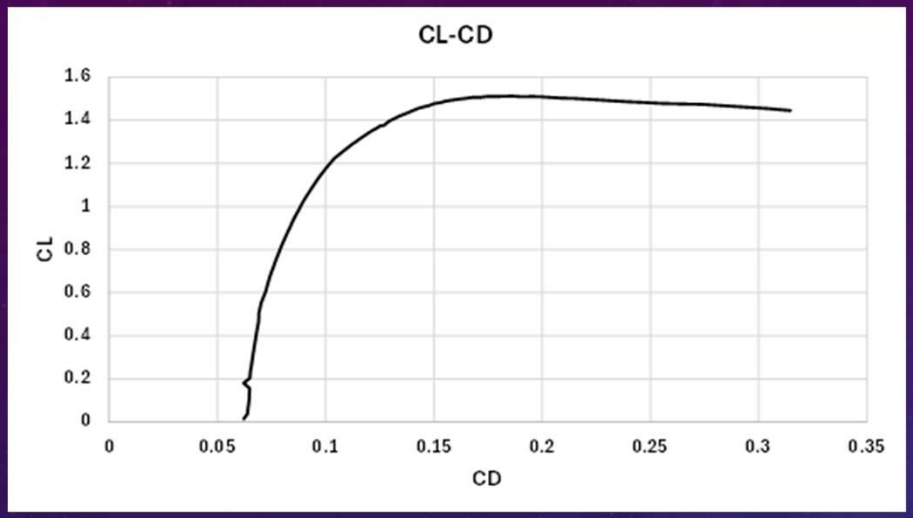
Flaps	
c_flap	25%
l_flap	0.62 m
max δ	-5º/25º

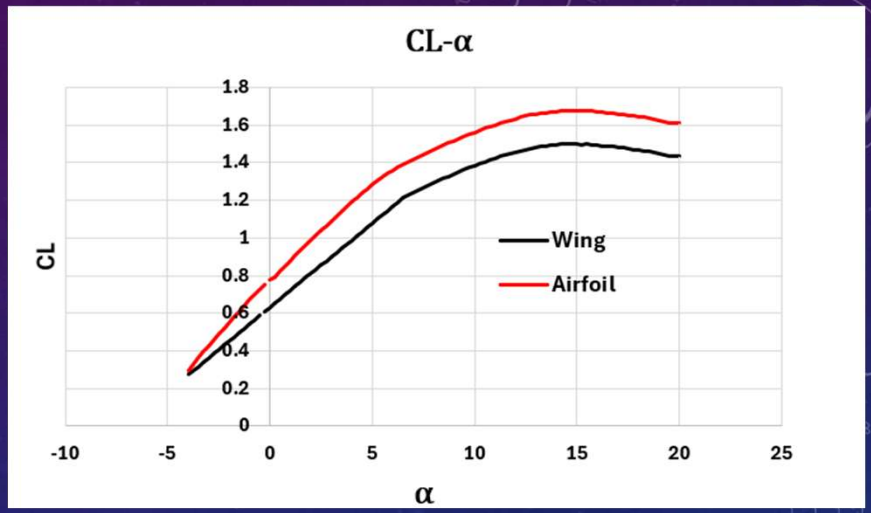
Tail	
c_flap	30%
l_flap	0.4m
max δ	±20º

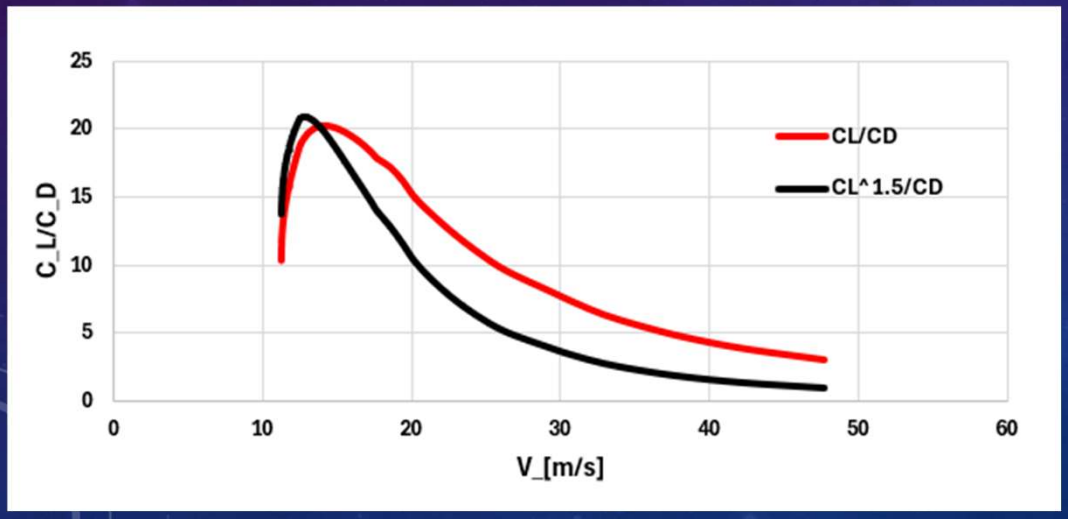
Flaperon	
c_flap	25%
l_flap	0.62 m
max δ	±15º



CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS



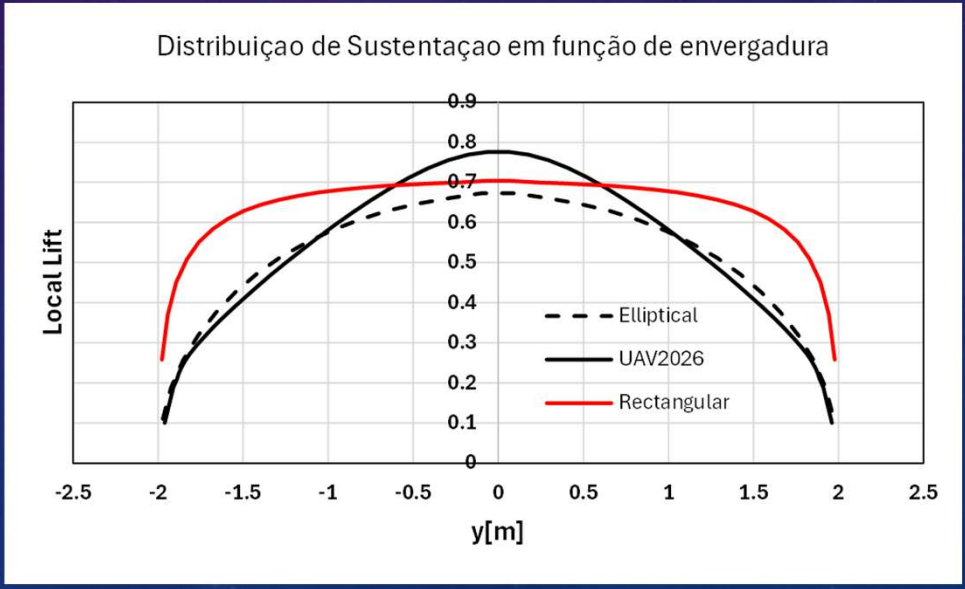


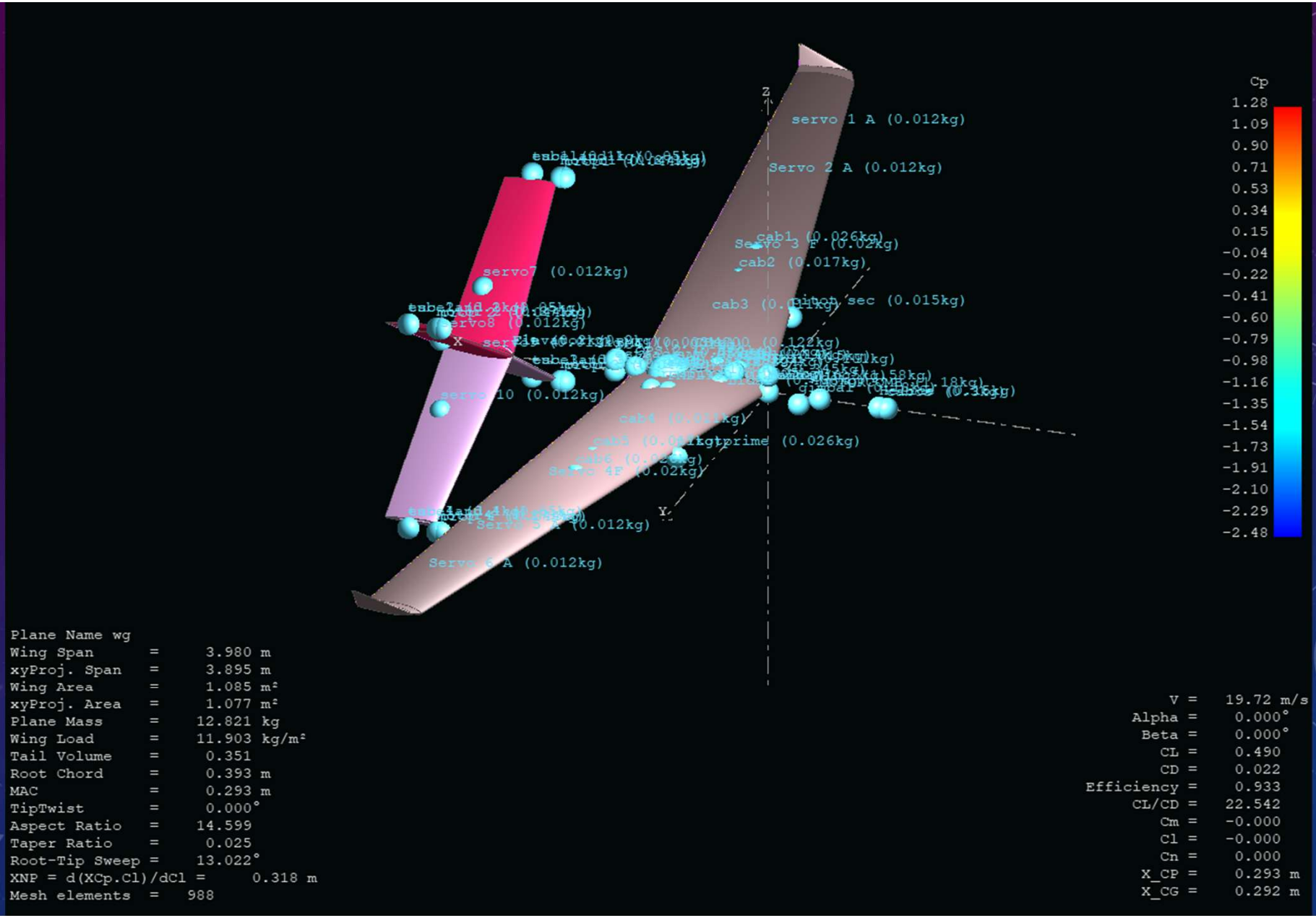


Re 364000 (Loiter)

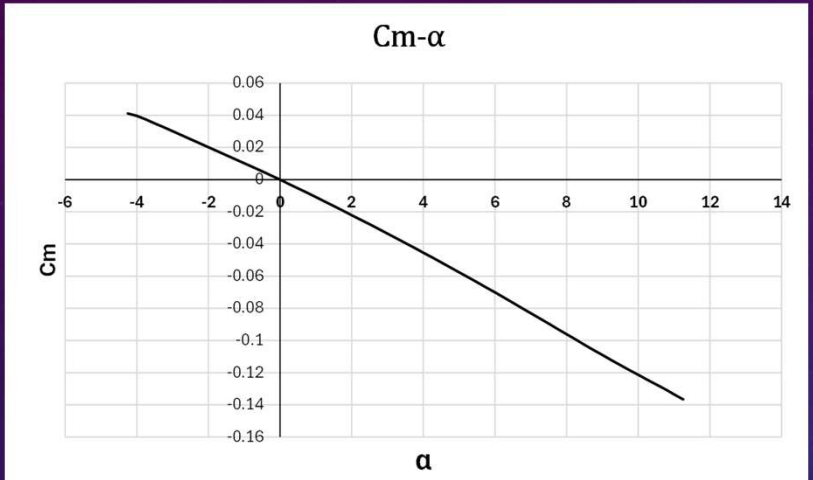
CARACTERÍSTICAS AERODINÂMICAS

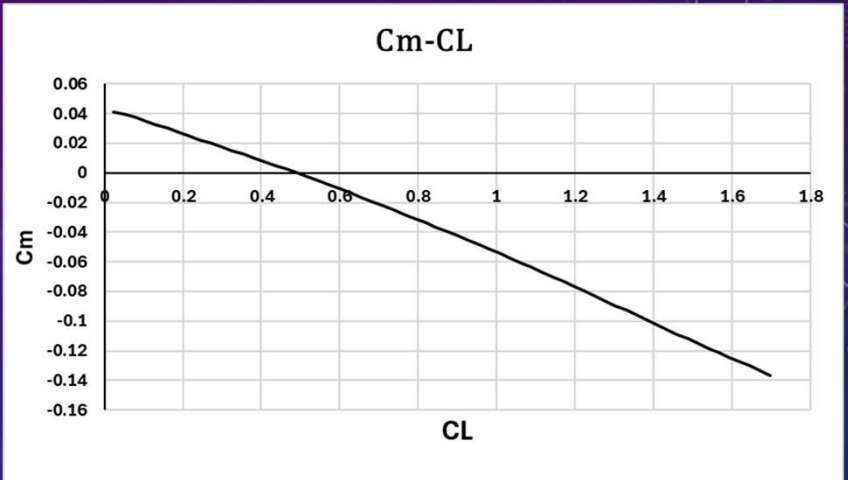
CL_max (Takeoff+Flap)	1.83
CL/CD (Loiter)	16.17
CL^1.5/CD (Loiter)	11.48
CD0 (Loiter)	0.02606
K (Loiter)	0.02014

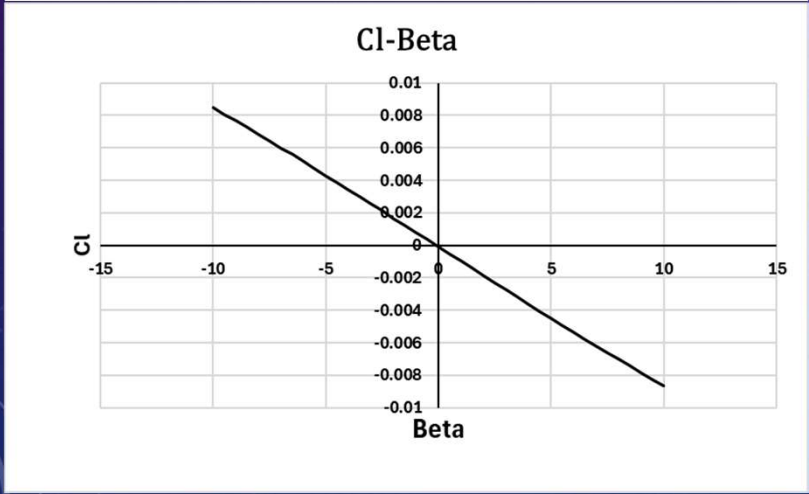


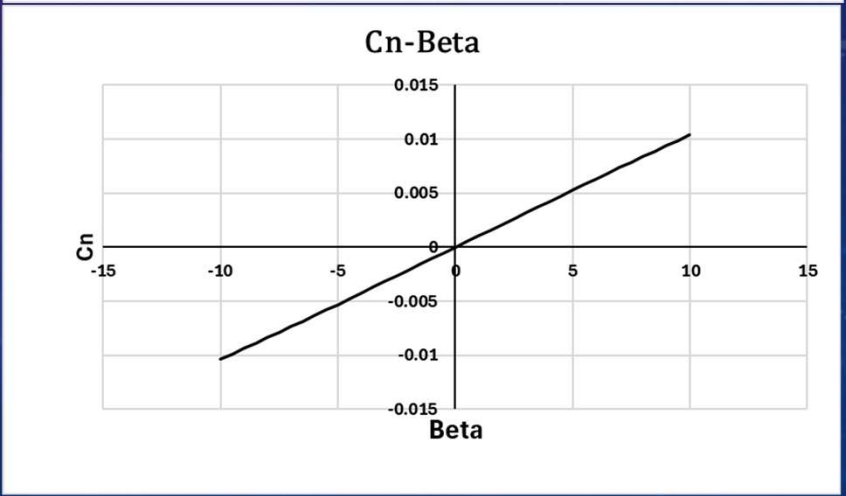

Cp
1.28
1.09
0.90
0.71
0.53
0.34
0.15
-0.04
-0.22
-0.41
-0.60
-0.79
-0.98
-1.16
-1.35
-1.54
-1.73
-1.91
-2.10
-2.29
-2.48
Z
X
Y
servo 1 A (0.012kg)
Servo 2 A (0.012kg)
cab1 (0.026kg)
cab2 (0.017kg)
servo7 (0.012kg)
servo8 (0.012kg)
servo10 (0.012kg)
cab4 (0.011kg)
cab5 (0.011kg)
cab6 (0.022kg)
Servo 4F (0.02kg)
Servo 6 A (0.012kg)
Plane Name wg
Wing Span = 3.980 m
xyProj. Span = 3.895 m
Wing Area = 1.085 m²
xyProj. Area = 1.077 m²
Plane Mass = 12.821 kg
Wing Load = 11.903 kg/m²
Tail Volume = 0.351
Root Chord = 0.393 m
MAC = 0.293 m
TipTwist = 0.000°
Aspect Ratio = 14.599
Taper Ratio = 0.025
Root-Tip Sweep = 13.022°
XNP = d(XCp.Cl)/dCl = 0.318 m
Mesh elements = 988
V = 19.72 m/s
Alpha = 0.000°
Beta = 0.000°
CL = 0.490
CD = 0.022
Efficiency = 0.933
CL/CD = 22.542
Cm = -0.000
Cl = -0.000
Cn = 0.000
X_CP = 0.293 m
X_CG = 0.292 m

ESTABILIDADE ESTATICA









ESTABILIDADE ESTATICA

Xcg	0.292m
XNP	0.318m
SM (Loiter)	9.56%
Cnβ	0.0408
Clβ	-0.05146

PROPULSÃO - COMBUSTÃO



MOTOR SELECIONADO:

EPHIL X-SERIES 20CC-R PRO W/ E-STARTER

POTÊNCIA NOMINAL: 2,5HP

PESO TOTAL : 1182,5 GRAMAS

MOTOR DE ARRANQUE / ALTERNADOR INCORPORADO

HÉLICE SELECIONADA:

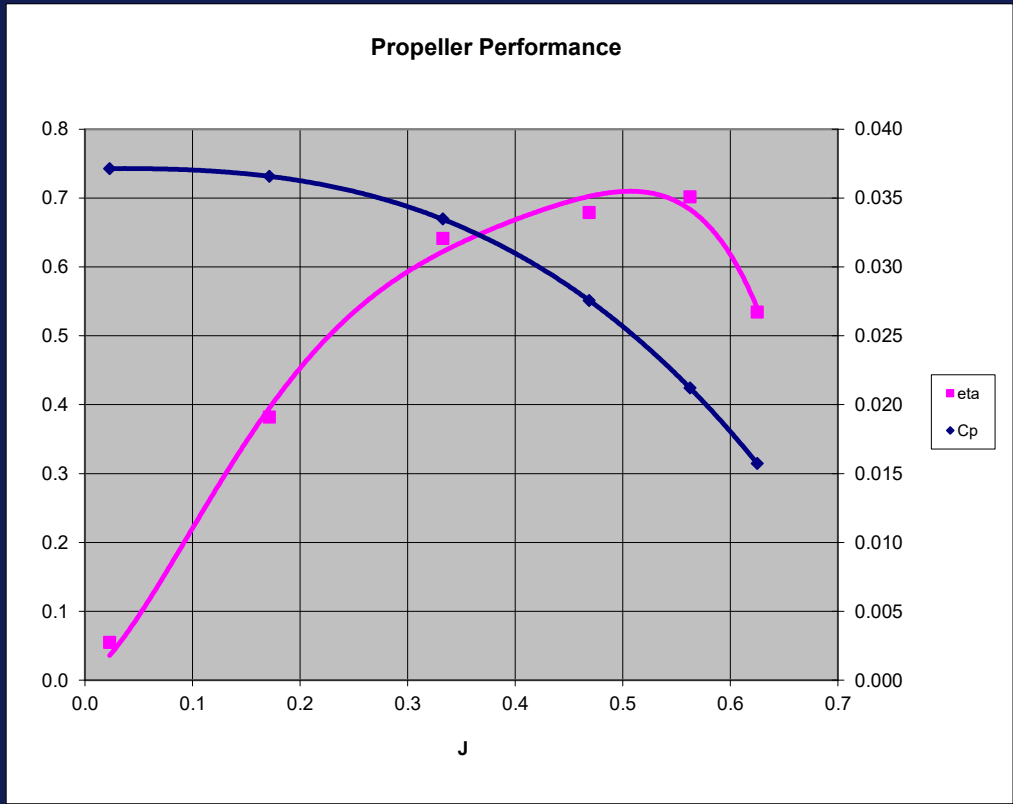
AERO-NAUT POWER PROPELLER 18X10

CRUSEIRO 36,11 M/S @ 8400 RPM $\Rightarrow J = \frac{V}{ND} = 0{,}5697$

$\eta_p = 70\%$

LOITER 19,44M/S @ 4699 RPM $\Rightarrow J = 0{,}5429$

$\eta_p = 70\%$



PROPULSÃO – ELÉTRICO

MOTOR SELECIONADO:

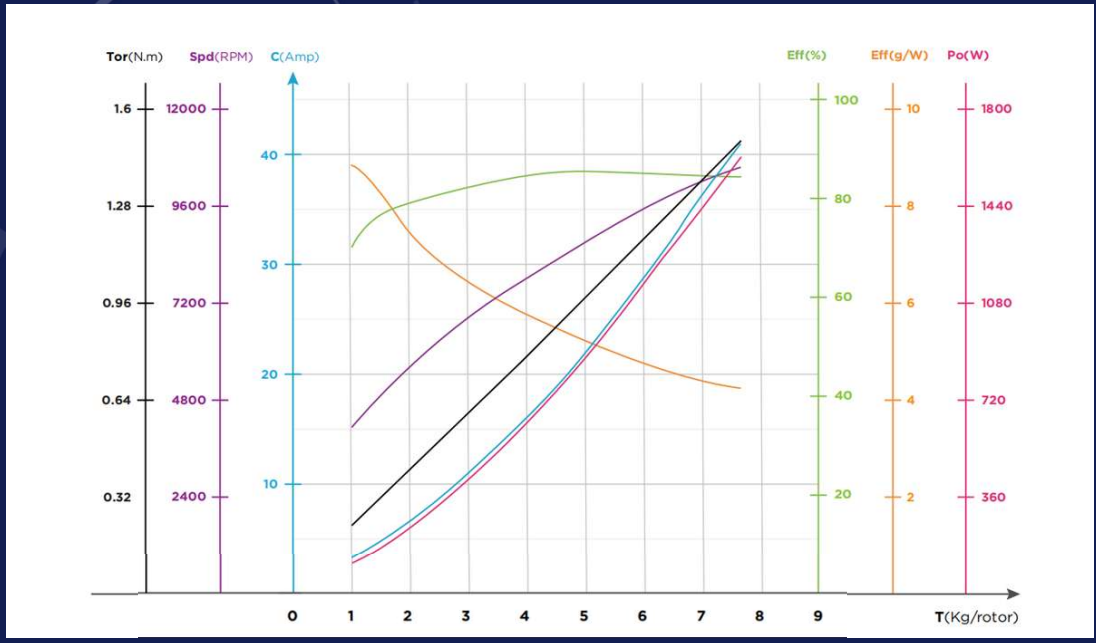
HOBBYWING 5212-275KV V-SERIES

TRAÇÃO: RECOMENADA 3KG/ROTOR E MÁXIMA 7,6 KG/ROTOR

PESO: 248 GRAMAS

HÉLICE SELECIONADA:

HOBBYWING MSC 16X5.4



POTÊNCIA REQUERIDA DURANTE FASE VTOL: 3505W

TEMPO TAKE-OFF/LANDING: 20S

ENERGIA REQUERIDA: 70 KJ

2 BATERIAS EM SÉRIE GENS ACE G-TECH 6S 22.2V 1800MAH 45C LIPO



CARACTERÍSTICAS DESEMPENHO

PESO DA AERONAVE: 12,82 KG

POTÊNCIA ESPECÍFICA REQUERIDA VOO HORIZONTAL: 10 W/N

POTÊNCIA ESPECÍFICA REQUERIDA VTOL: 19 W/N

VELOCIDADE MÁXIMA: 38 M/S

VELOCIDADE CRUZEIRO: 36,11 M/S

VELOCIDADE DE PERDA: 11 M/S

EFICIÊNCIA AERODINÂMICA MÁXIMA: 21,83 M/S

RAZÃO DE SUBIDA MÁXIMA: 5 M/S

VELOCIDADE VERTICAL FASE VTOL: 3 M/S

ALCANCE MÁXIMO: 941 KM

AUTONOMIA MÁXIMA: 13,4 HORAS

PESO COMBUSTÍVEL: 1,8 KG

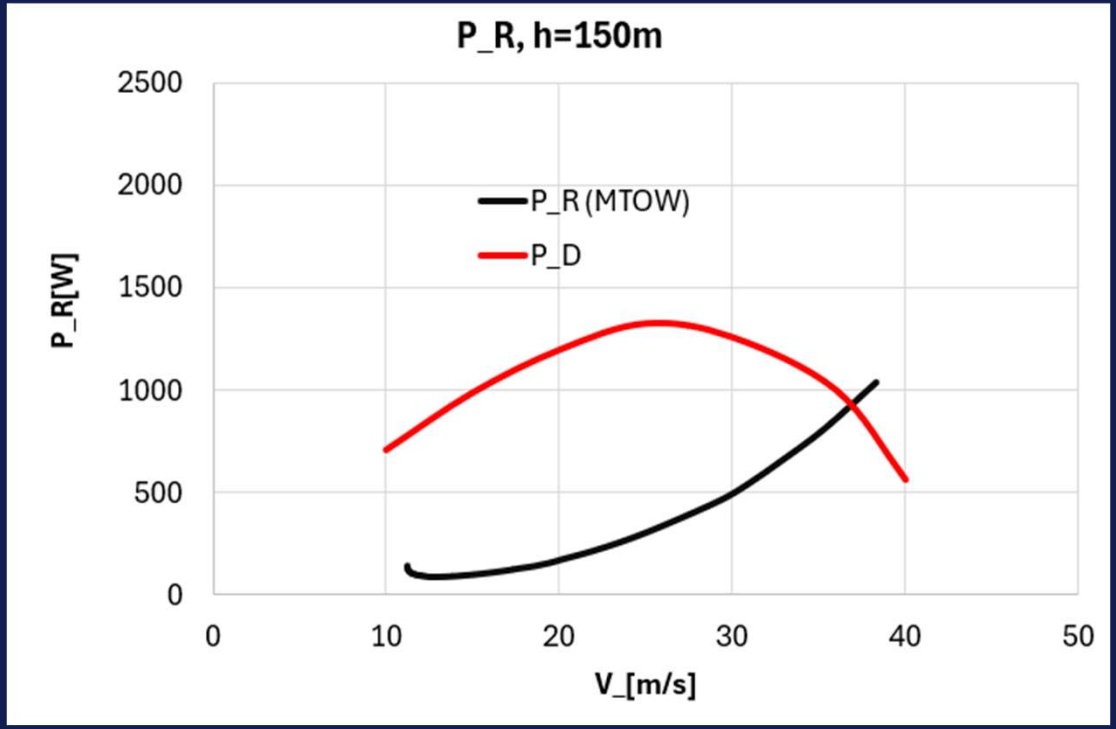
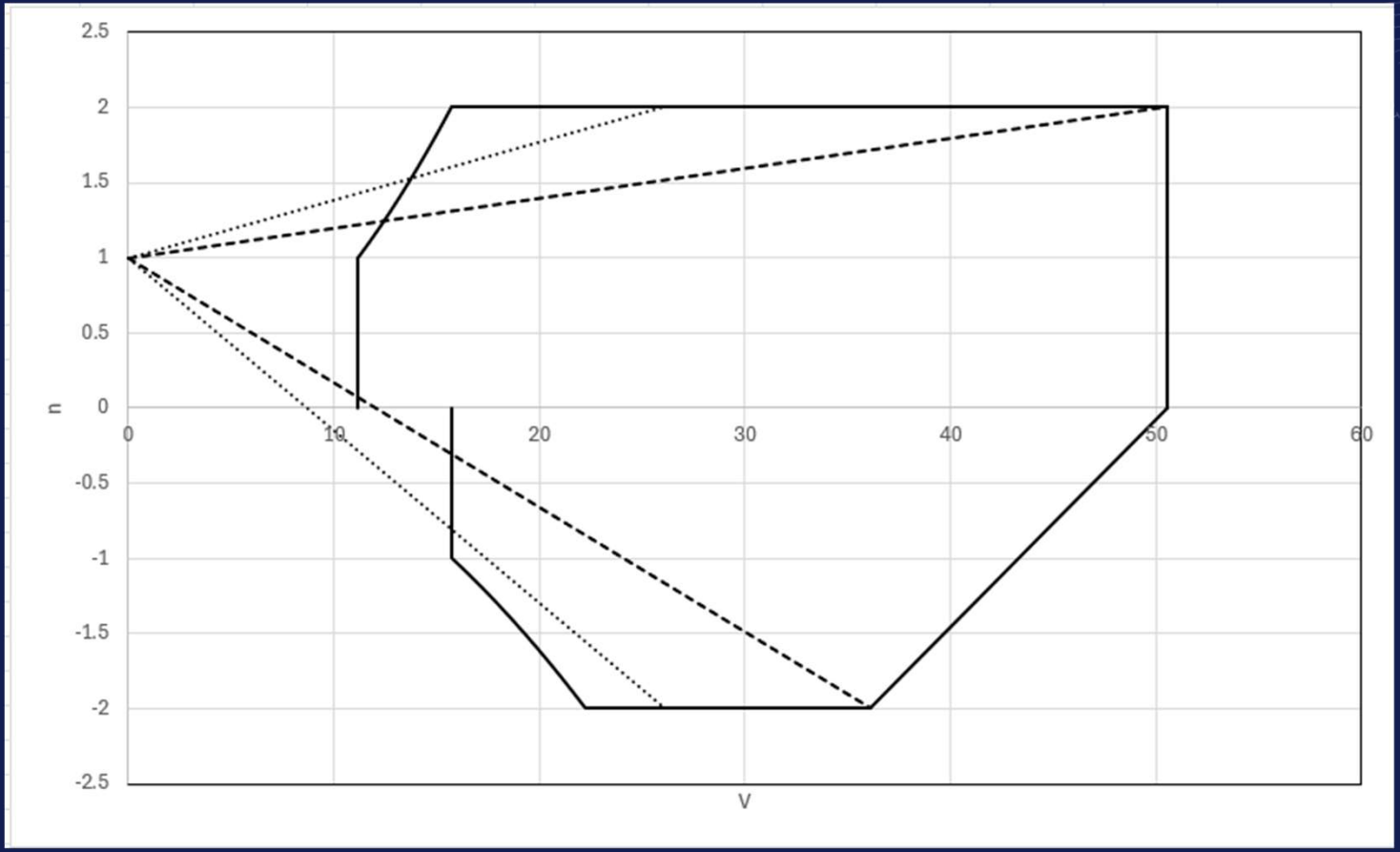


DIAGRAMA V-N



SELECÇÃO DE MATERIAIS E ARQUITETURA DE LIGAÇÕES



FIBRA DE CARBONO



FIBRA DE VIDRO



CONTRAPLACADO



AIREX



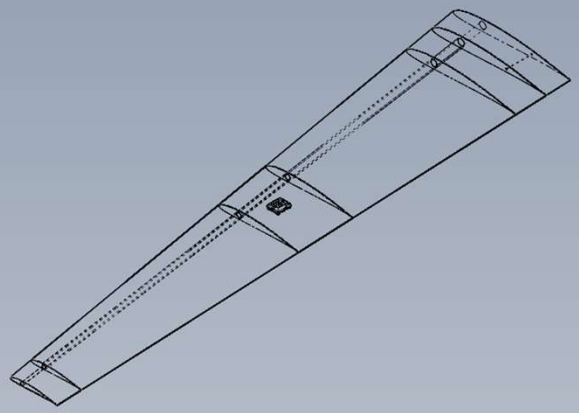
ALUMÍNIO

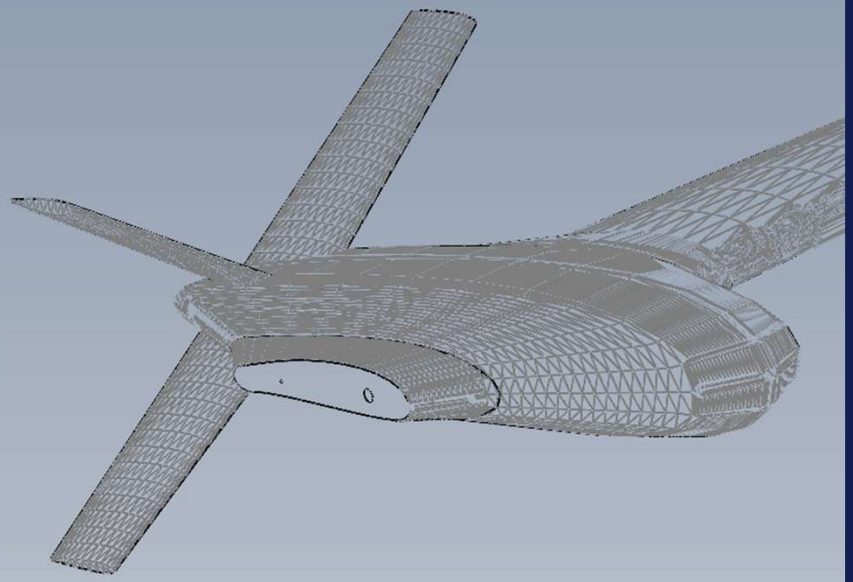


BORRACHA DE TPU

APLICAÇÕES E LOCALIZAÇÕES

- Rotas Primárias de Esforço nas Asas
- Manga Recetora de Ligação das Asas
- Tubo Mestre Central e Tubos Independentes da Cauda
- Revestimento Exterior das Asas
- Cavernas de Reforço da Fuselagem (revestidas de carbono)
- Nervuras Internas das Asas (revestidas de carbono, em combinação com Aire
- Nervuras Internas das Asas (em combinação com Contraplacado, aplicação pós-dimensionamento)
- Caverna de Fogo da Fuselagem
- Borrachas de Aterragem da Cauda





CONEXÕES ASA

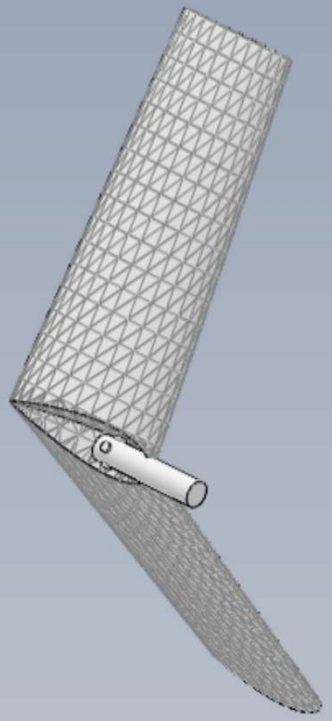
Arquitetura: Desmontável em 4 painéis.

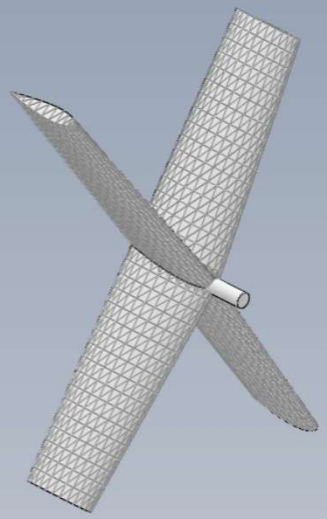
Transferência de Carga: Manga recetora na fuselagem.

Montagem: Encaixe por fricção.

Torção: Pinos anti-rotação nas raízes.

Trancamento: Fechos mecânicos *Cam-lock*.





CONEXÕES EMPENAGENS

Arquitetura em 'X': Nó de convergência central.

Fixação: 4 tubos em encastramento diagonal no tubo mestre.

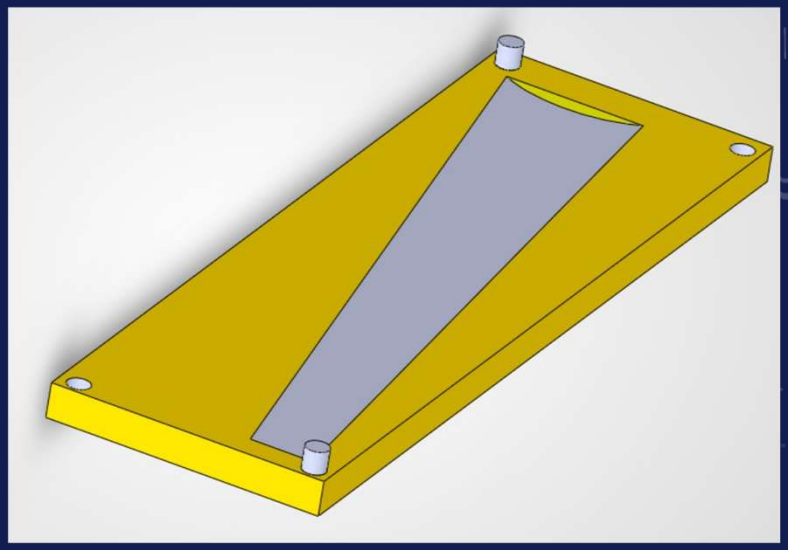
Função Dupla: Trem de aterragem e suporte propulsivo.

MANUFATURA

SikaBlock M900

- Material de elevada densidade;
- Boa resistência à compressão;
- Elevada estabilidade nas arestas e contornos do molde;
- Permite obter superfícies com bom acabamento;
- Fácil de maquinar por CNC;
- Adequado para a produção do lote inicial de aeronaves.





MANUFATURA

Preparação dos moldes



Passagem de verniz



Lixas de Água



Polimento



Cera de libertação de moldes

Laminação



Fibra de carbono



Fibra de Vidro

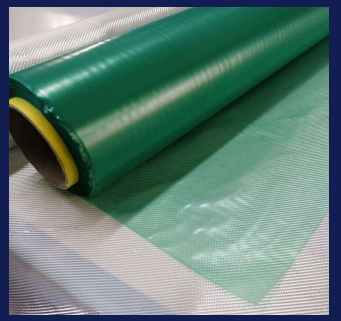


Resina Epoxi



Endurecedor de 60 min







CUSTOS E DESPESAS

Custo Unitário Estimado por UAV	
Asas	535,25€
Empenagem	211,03€
Fuselagem	423, 57€
Sistemas eletrónicos, aviónica, comunicações	46 500 €
Extras	800 €
Custo Total Unitário por UAV	48469,85€

Custo de Investimento			Observação
Moldes SikaBlock M900	Molde das Asas	3 420 €	Custo não recorrente
	Molde da Fuselagem	5 500 €	Custo não recorrente
Investimentos	Ferramentas e equipamento de apoio	580 €	Reutilizável
	Equipamento Informático/ software	6 540 €	Reutilizável
Extras	Luvas, copos, máscaras, x-Actos	55 €	Consumível
	Lixas	45 €	Consumível
	Colas	80 €	Consumível
Cera desmoldante		45 €	Parcialmente consumível
Massa de Correção		30 €	Consumível
Estaleiros (contraplacado de pinho)		60 €	Reutilizável
Custo Total		16 355 €	

CUSTOS E DESPESAS

Componente	Custo (€)
Cube Red Pro Standard Set	1 030 €
HerePro GNSS	900 €
STARLING EO/IR 3-axis gimbal	22 000 €
Livox Avia	1 700 €
TRIP 6 SSD	3 200 €
FLYC-300-EC-JON16	1 900 €
GigaBlox	200 €
SkyLink 7100	4 500 €
SC4200 OEM	10 000 €
pMDDL900 OEM	600 €
Crossfire Nano	30 €
CUAV Skye 2	190 €
CUAV Skye 2 Nano	150 €
Mauch BEC	50 €
BME688	10 €
SCD41	40 €
TOTAL	**46 500 €**

Custo Sistemas eletrónicos, aviónica, comunicações

Fase	Duração	Descrição	Custos de Investigação (€)	Custos de Produção (€)	Custos de Atividade (€)	Custos Adicionais (€)	Total (€)
1º Ano	6 meses	Investigação e dimensionamento	44300				44300
	6 meses	Produção do primeiro prototipo		58000	5000	10000	73000
2º ano	12 meses	Produção de 10 UAV's		490000	15000	20000	525000
3º ano e seguintes		Produção em Massa		variável	30000	27000	Variável

CUSTOS- RENDIMENTO

Serviço / Produto	Descrição	Preço estimado (€)
Venda de 1 UAV	Aeronave completa, pronta a operar, com sistemas de missão integrados	75 000 €
Pack 24/24 h — 2 UAVs	Dois UAVs para garantir vigilância contínua, alternando operação e turnaround	145 000 €
Base terrestre de lançamento	Estação fixa com antenas, controlo, energia, carregamento e equipamento de apoio	12 500 €
Carro com base de lançamento	Veículo equipado com estação de controlo móvel, comunicações, armazenamento e preparação dos UAVs	100 000 €
Treino da tripulação	Formação para 3 elementos: operação, segurança, manutenção básica e procedimentos de emergência	6 000 €
Serviço de manutenção anual	Inspeção periódica, atualizações, pequenas substituições e apoio técnico	7 500 €