



Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA  
Engenharia Aeroespacial

# **Design conceitual de aeronave do tipo executiva com ênfase na análise ergonômica de interior**

**Autor: Gutemberg Oliveira da Silva**  
**Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda**

**Brasília, DF**  
**2024**



Gutemberg Oliveira da Silva

## **Design conceitual de aeronave do tipo executiva com ênfase na análise ergonômica de interior**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Aeroespacial da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Aeroespacial.

Universidade de Brasília - UnB

Faculdade UnB Gama - FGA

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda

Brasília, DF

2024

---

Gutemberg Oliveira da Silva

Design conceitual de aeronave do tipo executiva com ênfase na análise ergonômica de interior/ Gutemberg Oliveira da Silva. – Brasília, DF, 2024-  
207 p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda

Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade de Brasília - UnB  
Faculdade UnB Gama - FGA , 2024.

1. Design Conceitual. 2. Aeronave Executiva. I. Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda. II. Universidade de Brasília. III. Faculdade UnB Gama. IV. Design conceitual de aeronave do tipo executiva com ênfase na análise ergonômica de interior

CDU 02:141:005.6

---

Gutemberg Oliveira da Silva

## **Design conceitual de aeronave do tipo executiva com ênfase na análise ergonômica de interior**

Monografia submetida ao curso de graduação em Engenharia Aeroespacial da Universidade de Brasília, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Aeroespacial.

Trabalho aprovado. Brasília, DF, 21 de Setembro de 2024:



---

**Prof. Dr. Mateus Rodrigues Miranda**  
Orientador

---

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Polliana Candida Oliveira  
Martins**  
Convidado 1

---

**Prof. Dr. Manuel Nascimento Dias  
Barcelos Junior**  
Convidado 2

Brasília, DF  
2024

# Agradecimentos

Agradeço principalmente a Deus que sempre está comigo e sempre me capacita. Também aos meus pais por todo apoio incondicional durante toda a minha vida, desde minha formação básica até minha formação superior, eles foram essenciais. Agradecer também os meus irmãos mais velhos pelo exemplo que me dão, no qual serve de combustível para que eu também siga os meus caminhos. Por fim, também agradeço minha namorada por sempre me apoiar e confiar em mim.

*"Nada é pequeno se feito com amor".  
(Santa Teresinha do Menino Jesus)*

# Resumo

O presente trabalho visa apresentar uma proposta de análise ergonômica de aeronave do tipo executiva na qual seja competitiva no cenário atual. Essa aeronave precisa acompanhar o alto estilo de vida do usuário e o satisfazer da melhor forma possível. Sendo assim, a aeronave deve ser eficaz e oferecer um interior condizente com os desejos do cliente. Para isso, foi feito um levantamento de dados relacionados às aeronaves executivas que já estão presentes no mercado, dividi-los em categorias e analisar suas principais características operacionais. Após isso, é interessante observar se esse setor foi afetado durante a pandemia e se o mercado executivo está forte principalmente no pós pandemia, já que foi um cenário muito difícil para a aviação. Após essa importante análise, é feita a definição dos requisitos básicos operacionais da aeronave conceitual, para isso é realizado a escolha da categoria, com base das aeronaves que foram mais vendidas durante os anos. A partir disso, é feita uma comparação minuciosa entre os jatos da mesma categoria escolhida e com auxílio da preferência do usuário, a definição dos requisitos. Em relação ao interior, é levantado todas as comodidades que as aeronaves concorrentes da mesma categoria possuem. Em concordância com os desejos do consumidor, é feito o *loft* da aeronave, definindo o comprimento da fuselagem, *cross section*, posição de motores, asa e empenagens e para o interior é definida a LOPA (*Location of Passenger Accommodations*) básica do conceito.

**Palavras-chaves:** Aeronave executiva. Aeronave conceitual. Interior. Design conceitual.

# Abstract

The present work aims to present a proposal for an ergonomic analysis of an executive-type aircraft that is competitive in the current market. This aircraft needs to match the user's high lifestyle and satisfy them in the best possible way. Thus, the aircraft must be efficient and offer an interior that aligns with the client's desires. To achieve this, a data survey was conducted on executive aircraft already available on the market, categorizing them and analyzing their main operational characteristics. Afterward, it is important to assess whether this sector was affected during the pandemic and if the executive market remains strong, particularly in the post-pandemic period, given that it was a very challenging time for aviation. Following this important analysis, the basic operational requirements of the conceptual aircraft are defined. For this, the choice of category is based on the aircraft that were most sold over the years. From there, a detailed comparison is made between jets of the same chosen category, and with the assistance of user preferences, the requirements are defined. Regarding the interior, all the amenities offered by competing aircraft in the same category are surveyed. In alignment with consumer desires, the aircraft's loft is carried out, defining the fuselage length, cross-section, engine position, wings, and empennage. For the interior, the basic LOPA (Location of Passenger Accommodations) concept is defined.

**Key-words:** Business aircraft. Conceptual aircraft. Interior. Conceptual design.

# Lista de ilustrações

Figura 1 – Fases do Design de uma longarina de asa. Fonte: Modificado de (RAYMER, 2018).	36
Figura 2 – Estatística de falhas de produtos no mercado. Fonte: (UJIHARA; CARDOSO; CHAVES, 2006).	40
Figura 3 – Jatos muito leves	41
Figura 4 – Jatos leves	42
Figura 5 – Jatos de médio porte	44
Figura 6 – Jatos super médios	46
Figura 7 – Jatos large	48
Figura 8 – Jatos particulares registrados e populações ricas no mundo. Fonte: Modificado de (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021)	51
Figura 9 – Interesses, paixões, hobbies e atividades dos UHNW. Fonte: Modificado de (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021)	52
Figura 10 – Características dos proprietários de jatos e do grupo UHNW. Fonte: Modificado de (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021)	53
Figura 11 – Declínio na demanda mundial em setembro de 2020 em relação a setembro de 2019. Fonte: Adaptado de (RIMMER, 2020)	54
Figura 12 – Impacto da pandemia na aviação brasileira. Fonte: Modificado de (MIGON, 2011)	56
Figura 13 – Evolução do impacto do tráfego global e recuperação da COVID-19. Fonte: Modificado de (DUBE, 2022).	56
Figura 14 – Evolução anual do número de voos - mercados doméstico e internacional. Fonte: (ANAC, 2022)	57
Figura 15 – Evolução anual do número de passageiros pagos - mercados doméstico e internacional. Fonte: (ANAC, 2022)	58
Figura 16 – Evolução anual do número de passageiros pagos - mercado doméstico. Fonte: (ANAC, 2022)	58
Figura 17 – Evolução anual do número de voos - mercado doméstico. Fonte: (ANAC, 2022)	59
Figura 18 – Evolução anual no número de passageiros - mercado internacional. Fonte: (ANAC, 2022)	59
Figura 19 – Evolução anual no número de voos - mercado internacional. Fonte: (ANAC, 2022)	60
Figura 20 – Atividade do total de voos da aviação executiva nos EUA. Fonte: Modificado de (ARGUS, 2023)	61

Figura 21 – Atuação em porcentagem do mercado europeu e a recuperação da COVID-19. Fonte: Modificado de (DUBE, 2022) . . . . .	61
Figura 22 – Evolução da frota de jatos no Brasil nos pós-pandemia. Fonte: (FLAP, 2023). . . . .	62
Figura 23 – Frota operacional da aviação de negócios. Fonte: (FLAP, 2023). . . . .	62
Figura 24 – Perspectiva do volume unitário e em dólares do mercado. Fonte: (CAPITAL, 2023). . . . .	64
Figura 25 – Previsão total de novas entregas em volume unitário e em dólares. Fonte: (CAPITAL, 2023) . . . . .	65
Figura 26 – Produção de novos jatos executivos por tamanho . . . . .	66
Figura 27 – Avaliação dos usuários em relação às empresas. Fonte: (TRAVELER, 2021). . . . .	70
Figura 28 – Preferências de aeronaves dos usuários. Fonte: Do Autor, modificado de (TRAVELER, 2022). . . . .	72
Figura 29 – Avaliação dos usuários sobre alguns requisitos da aviação executiva. Fonte: (TRAVELER, 2021). . . . .	72
Figura 30 – Desdobramento da Função Qualidade dos requisitos da aeronave. Fonte: Do Autor . . . . .	73
Figura 31 – Gráfico de Pareto sobre os requisitos funcionais. Fonte: Do Autor . . . . .	73
Figura 32 – Custo das aeronaves tipo large. Fonte: Do Autor, retirado de (FLAP, 2023). . . . .	74
Figura 33 – Máximo peso de carga útil em relação ao custo das aeronaves tipo large. Fonte: Do Autor . . . . .	75
Figura 34 – Alcance em relação aos custos da aeronave. Fonte: Do Autor. . . . .	76
Figura 35 – Velocidade máxima de cruzeiro em relação aos custos das aeronaves. Fonte: Do Autor. . . . .	76
Figura 36 – Quantidade de ocupantes em relação ao custo das aeronaves. Fonte: Do Autor . . . . .	77
Figura 37 – Loft da aeronave Global 5500. Fonte: Adaptado de (BOMBARDIER, 2023a) . . . . .	80
Figura 38 – Medidas da seção transversal do Global 5500. Fonte: Do autor retirado de (BOMBARDIER, 2023a). . . . .	81
Figura 39 – Loft da aeronave Global 6000. Fonte: Adaptado de (BOMBARDIER, 2020). . . . .	81
Figura 40 – Loft da aeronave Global 6500. Fonte: Adaptado de (BOMBARDIER, 2023b) . . . . .	83
Figura 41 – Loft da aeronave Falcon 7X. Fonte: Adaptado de (DASSAULT, 2022a) . . . . .	85
Figura 42 – Medidas da seção transversal do Falcon 7X. Fonte: Do autor retirado de (DASSAULT, 2022a). . . . .	86

Figura 43 – Loft da aeronave Falcon 8X. Fonte: Adaptado de (DASSAULT, 2022b).	87
Figura 44 – Loft da aeronave G500. Fonte: Adaptado de (GULFSTREAM, 2020a) .	88
Figura 45 – Medidas da seção transversal do G500. Fonte: Do autor retirado de (GULFSTREAM, 2020a). . . . .	89
Figura 46 – Loft da aeronave G600. Fonte: Adaptado de (GULFSTREAM, 2020b) .	89
Figura 47 – Loft da aeronave G650 e G650ER. Fonte: Adaptado de (GULFSTREAM, 2022) . . . . .	92
Figura 48 – Medidas da seção transversal do G650 e G650ER. Fonte: Do autor retirado de (GULFSTREAM, 2022). . . . .	93
Figura 49 – Pesquisa sobre o que os usuários geralmente fazem no voo. Fonte: Modificado de (TRAVELER, 2021) . . . . .	95
Figura 50 – Desdobramento da Função Qualidade da parte interna da aeronave. Fonte: Do Autor. . . . .	96
Figura 51 – Gráfico da importância de requisitos do interior da cabine de acordo com o usuário. Fonte: Do Autor. . . . .	97
Figura 52 – Seção transversal do interior da aeronave conceitual. Fonte: Do Autor.	97
Figura 53 – Loft da aeronave conceitual. Fonte: Do Autor. . . . .	98
Figura 54 – Missão de cruzeiro simples. Fonte: (RAYMER, 2018) . . . . .	103
Figura 55 – Parâmetros geométricos na fuselagem. Fonte: (ROSKAM, 1985). . . . .	109
Figura 56 – Parâmetros e relações métricas da fuselagem. Fonte: (SCHOLZ, 2015). . . . .	109
Figura 57 – Enflechamento da asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor. . . . .	112
Figura 58 – Asa teórica com o diedro positivo. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	114
Figura 59 – Gulfstream 650ER com asa baixa. Fonte: (GULFSTREAM, 2022). . . . .	114
Figura 60 – Bombardier Global 5500 com asa baixa. Fonte: (BOMBARDIER, 2023a). . . . .	114
Figura 61 – Asa da aeronave conceito com o ângulo de diedro de 5°. Fonte: Do Autor. . . . .	115
Figura 62 – Visualização do tamanho da asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor. . . . .	116
Figura 63 – Exemplos de aerofólios típicos. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	117
Figura 64 – Perfil do aerofólio da asa e suas dimensões. Fonte: Do Autor. . . . .	117
Figura 65 – Localização do início do CG e localização do CG em relação ao bordo de ataque da asa. Fonte: Do Autor. . . . .	119
Figura 66 – Perfil do aerofólio da raiz da asa e suas dimensões. Fonte: Do Autor. . . . .	119
Figura 67 – Perfil do aerofólio da ponta da asa e suas dimensões. Fonte: Do Autor. . . . .	119
Figura 68 – Tipos de pontas de asa. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	120
Figura 69 – Geometria padrão de uma winglet. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	120
Figura 70 – Winglet visto de frente na asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor. . . . .	121
Figura 71 – Winglet visto de lado na asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor. . . . .	121
Figura 72 – Tipos de caudas de aeronaves. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	121
Figura 73 – Dimensionamento inicial das empenagens. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	123
Figura 74 – Vista de cima da empenagem da aeronave conceito. Fonte: Do Autor. . . . .	124

Figura 75 – Vista de lado da empenagem da aeronave conceito. Fonte: Do Autor. . . . .	125
Figura 76 – Esqueleto da cabine. Fonte: Do Autor . . . . .	127
Figura 77 – Dimensões das seções propostas. . . . .	128
Figura 78 – Dimensões de comprimento da cabine na versão 2 (atualizada). . . . .	128
Figura 79 – Seção transversal da cabine com a dimensão de largura externa e interna e altura da cabine. . . . .	128
Figura 80 – Vista superior da cabine com a largura do <i>side ledge</i> . . . . .	129
Figura 81 – Vista lateral da cabine com altura do <i>side ledge</i> . . . . .	129
Figura 82 – Vista da lateral da cabine com as dimensões das janelas da aeronave conceito. . . . .	129
Figura 83 – Vista superior da cabine para dimensão da largura do corredor. . . . .	129
Figura 84 – Vista de frente do lavatório dianteiro com as dimensões da porta de entrada. . . . .	130
Figura 85 – Vista superior do lavatório dianteiro com a amostra da abertura da porta. . . . .	130
Figura 86 – Vista de frente do lavatório traseiro com as dimensões da porta. . . . .	131
Figura 87 – Vista superior do lavatório traseiro com a amostra da abertura da porta. . . . .	131
Figura 88 – Dimensões ergonômicas de uma poltrona de avião. Fonte: (DREYFUSS, 1966). . . . .	132
Figura 89 – Visão lateral da poltrona da 1 <sup>a</sup> versão com suas dimensões. Fonte: Do Autor . . . . .	132
Figura 90 – Poltrona da versão anterior. . . . .	132
Figura 91 – Visão lateral da poltrona da 2 <sup>a</sup> versão com suas dimensões. Fonte: Do Autor . . . . .	133
Figura 92 – Poltrona da 2 <sup>a</sup> versão (atual). . . . .	133
Figura 93 – Poltrona deitada da 1 <sup>a</sup> versão. . . . .	134
Figura 94 – Poltrona deitada da 2 <sup>a</sup> versão com extensão de pernas. . . . .	134
Figura 95 – Poltrona deitada da 2 <sup>a</sup> versão. . . . .	134
Figura 96 – Poltrona de jantar 1 <sup>a</sup> versão. . . . .	135
Figura 97 – Poltrona de jantar 2 <sup>a</sup> versão. . . . .	135
Figura 99 – Dimensões teóricas da poltrona do cockpit. Fonte: Do Autor. . . . .	136
Figura 98 – Dimensões teóricas da poltrona do cockpit. Fonte: (DREYFUSS, 1966). . . . .	136
Figura 100 – Dimensões teóricas da poltrona do cockpit. Fonte: (DREYFUSS, 1966). . . . .	137
Figura 101 – Cabine vista de cima com as demarcações. Fonte: Do Autor. . . . .	137
Figura 102 – Entrada do cockpit. . . . .	138
Figura 103 – Vista do cockpit. . . . .	138
Figura 104 – Manequim percentil 50 na galley . . . . .	139
Figura 105 – Manequim percentil 50 na pia da galley . . . . .	139
Figura 106 – Manequim percentil 50 no vaso sanitário do banheiro dianteiro na versão 1. . . . .	140

Figura 107 – Manequim percentil 50 no vaso sanitário do banheiro dianteiro na versão 2. . . . .	140
Figura 108 – Manequim percentil 5 e 95 deitados na poltrona na 1ª versão. . . . .	141
Figura 109 – Dois manequins percentis 95 deitados nas poltronas da seção 1 na versão 2. . . . .	141
Figura 110 – Controle lateral sensível ao toque. . . . .	142
Figura 111 – Manequim percentil 50 e sua vista para a TV. . . . .	142
Figura 112 – Mesa com louças de jantar visão. . . . .	143
Figura 113 – Mesa com louças de jantar visão. . . . .	143
Figura 114 – Manequim percentil 50 recolhendo a mesa. Fonte: Do Autor . . . . .	143
Figura 115 – 3 manequins percentis 50 sentados no divã assistindo TV. Fonte: Do Autor . . . . .	144
Figura 116 – Manequim percentil 50 sentado no divã assistindo TV. Fonte: Do Autor	144
Figura 117 – Aparador da seção 2 da cabine. Fonte: Do Autor . . . . .	145
Figura 118 – Manequim percentil 50 sentado na poltrona da 3ª seção. Fonte: Do Autor	145
Figura 119 – 4 manequins percentis 50 sentados nas poltronas de jantar dupla da 3ª seção. Fonte: Do Autor . . . . .	146
Figura 120 – Manequim percentil 50 utilizando a pia do banheiro traseiro. Fonte: Do Autor . . . . .	146
Figura 121 – Manequim percentil 50 dentro do box do banheiro traseiro. Fonte: Do Autor . . . . .	147
Figura 122 – Estatura manequim com percentil 95. Fonte: Do Autor . . . . .	148
Figura 123 – Estatura manequim com percentil 50. Fonte: Do Autor . . . . .	148
Figura 124 – Estatura manequim com estatura 5. Fonte: Do Autor . . . . .	148
Figura 125 – Homem percentil 50 sentado na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor	149
Figura 126 – Análise do RULA do homem percentil 50 sentado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor . . . . .	150
Figura 127 – Homem percentil 50 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	150
Figura 128 – Análise do RULA do homem percentil 50 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	150
Figura 129 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor .	151
Figura 130 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor .	151
Figura 131 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	151
Figura 132 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	152
Figura 133 – Homem percentil 95 sentado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor	152
Figura 134 – Homem percentil 95 sentado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor	153

Figura 135–Homem percentil 95 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	153
Figura 136–Homem percentil 95 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	153
Figura 137–Homem percentil 50 deitado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor	154
Figura 138–RULA do Homem percentil 50 deitado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor . . . . .	154
Figura 139–Homem percentil 50 deitado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	154
Figura 140–RULA do Homem percentil 50 deitado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	155
Figura 141–Mulher percentil 5 deitada na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor .	155
Figura 142–Mulher percentil 5 deitada na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor .	156
Figura 143–Mulher percentil 5 deitada na poltrona da 2ª versão (atua). Fonte: Do Autor . . . . .	156
Figura 144–RULA da mulher percentil 5 deitada na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	156
Figura 145–Homem percentil 95 deitado na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor	157
Figura 146–RULA do homem percentil 95 deitado na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor . . . . .	157
Figura 147–Homem percentil 95 deitado na poltrona na 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	157
Figura 148–Rula do homem percentil 95 deitado na poltrona na 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor . . . . .	158
Figura 149–Homem percentil 95 com as mãos na manete e manche. Fonte: Do Autor	158
Figura 150–RULA do homem percentil 95 com as mãos na manete e manche. Fonte: Do Autor . . . . .	159
Figura 151–Homem percentil 95 com as mãos no manche. Fonte: Do Autor . . . . .	159
Figura 152–RULA do homem percentil 95 com as mãos no manche. Fonte: Do Autor	159
Figura 153–Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da galley. Fonte: Do Autor	160
Figura 154–Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da seção 1. Fonte: Do Autor . . . . .	160
Figura 156–Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da seção 3. Fonte: Do Autor . . . . .	161
Figura 155–Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da seção 2. Fonte: Do Autor . . . . .	161
Figura 157–Distância da cabeça do percentil 95 até o teto do banheiro. Fonte: Do Autor . . . . .	162

Figura 158 – Distância máxima das pernas abertas de um manequim percentil 95 sentado. Fonte: Do Autor . . . . .	162
Figura 159 – Distância das pernas até a mesa de um manequim percentil 95 sentado. Fonte: Do Autor . . . . .	162
Figura 160 – Duas pessoas percentil 95 sentadas uma de frente para outra na versão anterior. Fonte: Do Autor . . . . .	163
Figura 161 – Duas pessoas percentil 95 sentadas uma de frente para outra na versão 2 (nova). Fonte: Do Autor . . . . .	163
Figura 162 – Envelope da mão direita do manequim percentil 50 sentado. Fonte: Do Autor . . . . .	164
Figura 163 – Envelope da mão esquerda do manequim percentil 50 sentado. Fonte: Do Autor . . . . .	164
Figura 164 – Bola de alcance mão direita do manequim visto de fora da bolha. Fonte: Do Autor . . . . .	165
Figura 165 – Bola de alcance mão direita do manequim visto dentro da bolha. Fonte: Do Autor . . . . .	165
Figura 166 – Cone de visão teórico do piloto através da janela. Fonte: Adaptado do (ROSKAM, 1985). . . . .	165
Figura 167 – Cone de visão do piloto através da janela. Fonte: Do Autor . . . . .	166
Figura 168 – Alcance de visão horizontal teórico aproximado. Fonte: (ROSKAM, 1985)	166
Figura 169 – Alcance de visão horizontal do cockpit da aeronave conceito. Fonte: Do Autor . . . . .	166
Figura 171 – Distância da perna até o manche quando puxa totalmente. Fonte: Do Autor . . . . .	167
Figura 170 – Angulações do manche. Fonte: Do Autor adaptado do (DREYFUSS, 1966). . . . .	167
Figura 172 – Distância da perna até o manche na posição neutra. Fonte: Do Autor .	168
Figura 173 – Distância da perna até o manche quando empurra totalmente. Fonte: Do Autor . . . . .	168
Figura 174 – Poltrona da entrada do cockpit. Fonte: Do Autor . . . . .	168
Figura 175 – Distância da perna a parede da frente na poltrona da entrada do cockpit.	169
Figura 176 – Vista superior da localização da saída de emergência 1. Fonte: Do Autor	170
Figura 177 – Localização da saída de emergência 1. . . . .	171
Figura 178 – Localização da saída de emergência 2. . . . .	171
Figura 179 – Altura da saída de emergência. . . . .	171
Figura 180 – Largura da saída de emergência. . . . .	172
Figura 181 – Distância até o chão da saída de emergência. . . . .	172
Figura 182 – Manequim segurando máscara de oxigênio em emergência. . . . .	172

Figura 183–Vista de cima com a localização das máscaras de oxigênio. Fonte: Do Autor . . . . .	173
Figura 184–Iluminação principal da cabine. Fonte: Do Autor . . . . .	174
Figura 185–Iluminação com a luminária de mesa. Fonte: Do Autor . . . . .	174
Figura 186–Iluminação com o spot de luz. Fonte: Do Autor . . . . .	174
Figura 187–Aeronave conceito . . . . .	175
Figura 188–Aeronave conceito vista de lado . . . . .	175
Figura 189–Loft da aeronave conceito . . . . .	188
Figura 190–LOPA da aeronave conceito . . . . .	189
Figura 191–Desenho técnico da poltrona da aeronave conceito . . . . .	190
Figura 192–Desenho técnico da poltrona de jantar da aeronave conceito . . . . .	191
Figura 193–Desenho técnico do divã da aeronave conceito . . . . .	192
Figura 194–Desenho técnico da poltrona do cockpit da aeronave conceito . . . . .	193
Figura 195–Desenho técnico da mesa dupla da aeronave conceito . . . . .	194
Figura 196–Localização dos componentes da galley da aeronave conceito . . . . .	195
Figura 197–Localização dos componentes do lavatório da aeronave conceito . . . . .	196
Figura 198–Desenho técnico da mesa simples da aeronave conceito . . . . .	197
Figura 199–Localização dos componentes do aparador da aeronave conceito . . . . .	198
Figura 200–Desenho técnico da divisória da aeronave conceito . . . . .	199
Figura 201–Desenho técnico do armário com pia da aeronave conceito . . . . .	200
Figura 202–SFC em relação ao número de mach. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	203
Figura 203–L/D em relação à razão de aspecto molhada. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	203
Figura 204–Relação de peso vazio em relação ao peso total. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	204
Figura 205–Geometria da asa. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	205
Figura 206–Enflechamento da asa de forma teórica. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	205
Figura 207–Enflechamento da asa de forma teórica. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	206
Figura 208–Valores de razão de espessura versus o valor de máximo número de mach. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	206
Figura 209–Valores aproximados de localização de pesos vazios. Fonte: (RAYMER, 2018). . . . .	207

# Lista de tabelas

Tabela 1 – Comparativo de requisitos das aeronaves mais vendidas em 2022 . . . . .	49
Tabela 2 – Mudanças nos assentos ocupados nas macros regiões em comparação entre os anos de 2019 e 2020 . . . . .	55
Tabela 3 – 5 maiores vendas em aeronaves no ano de 2022 . . . . .	67
Tabela 4 – Comparação de performance e pesos das aeronaves tipo <i>large</i> . . . . .	69
Tabela 5 – Aeronaves tipo large mais vendidos dos últimos 3 anos. . . . .	70
Tabela 6 – Frequências de comodidades em cada modelo . . . . .	93
Tabela 7 – Comparação de tamanho das cabines . . . . .	93
Tabela 8 – Frações de peso do segmento de missão histórica . . . . .	104
Tabela 9 – Valores de L/D nos momentos de cruzeiro e de espera . . . . .	106
Tabela 10 – Valores de $A$ e $C$ para definição do peso vazio. . . . .	107
Tabela 11 – Valores aleatórios para estimação do peso vazio . . . . .	108
Tabela 12 – Valores de $a$ e $C$ para definição do comprimento . . . . .	108
Tabela 13 – Valores dos parâmetros geométricos essenciais para fuselagem . . . . .	109
Tabela 14 – Grandezas que mudaram com o avanço do projeto . . . . .	110
Tabela 15 – Tendências de carga alar . . . . .	112
Tabela 16 – Equivalentes de razões de aspecto em jatos . . . . .	113
Tabela 17 – Valores de ângulos de diedro para diferentes tipos de asas. . . . .	115
Tabela 18 – Valores de razão de aspecto e taxa de afilamento das empenagens vertical e horizontal . . . . .	122
Tabela 19 – Estatura média de homens e mulheres. . . . .	147
Tabela 20 – Segundo refino da posição do cg . . . . .	177

# Lista de Quadros

1	Aviões a jato muito leves . . . . .	41
2	Aviões a jato leves . . . . .	43
3	Aviões a jato de médio porte . . . . .	43
4	Aviões a jato super médios . . . . .	45
5	Aviões a jato do tipo <i>large</i> . . . . .	47
6	Comodidades no interior do Global 5500 . . . . .	79
7	Comodidades no interior do Global 6000 . . . . .	82
8	Comodidades no interior do Global 6500 . . . . .	84
9	Comodidades no interior do Falcon 7X . . . . .	85
10	Comodidades no interior do Falcon 8X . . . . .	86
11	Comodidades no interior do G500 . . . . .	88
12	Comodidades no interior do G600 . . . . .	90
13	Comodidades no interior do G650 e G650ER . . . . .	91
14	Comparativo com todos os modelos . . . . .	94
15	Comparativo de comodidades dos jatos tipo large com a aeronave conceito. . . . .	176
16	Comparativo dos requisitos operacionais aproximados dos jatos tipo large com a aeronave conceito. . . . .	176

# Lista de abreviaturas e siglas

LOPA	Location of passenger accommodations
LEE	Lista de Equipamentos de Emergência
QFD	Quality Function Deployment
POC	Prova de conceito
UHNW	Ultra high net worth
VHNW	Very high net worth
OEM	Plano dos fabricantes originais
VOC	Voz do cliente
km	Quilômetros
nm	Milhas náuticas
ktas	Nós
VFR	Voo visual
IFR	Voo por instrumento
RA	Razão de aspecto
L/D	Sustentação/arrasto
MAC	Corda aerodinâmica média
CG	Centro de gravidade

# Lista de equações

- 6.1 Somatório do cálculo de peso total de decolagem
- 6.2 Equação de peso total de decolagem
- 6.3 Equação de *Breguet*
- 6.4 Equação de Resistência
- 6.5 Fração de combustível total
- 6.6 Fração de peso vazio
- 6.7 Fração de peso vazio estimado
- 6.8 Comprimento da fuselagem
- 6.9 Corda da raiz da asa
- 6.10 Envergadura da asa
- 6.11 Corda da ponta da asa
- 6.12 Área da asa
- 6.13 Razão de aspecto
- 6.16 Equação da corda média aerodinâmica

# Lista de Símbolos

$W_e$	Peso vazio
$W_f$	Peso de combustível
$W_p$	Peso dos passageiros
$W_c$	Peso da tripulação
$W_0$	Peso bruto de decolagem
$W_i$	Peso de uma etapa “i” do voo
$W_x$	Peso de “x” etapas a partir do peso bruto de decolagem
R	Alcance
E	Tempo de espera
L/D	Relação sustentação / peso
V	Velocidade máxima
C	Consumo de combustível
l/h	Litros por hora
$K_{vs}$	Constante para o material utilizado na fuselagem
$l_f$	Comprimento da fuselagem
$d_f$	Diâmetro da fuselagem
$\theta_{fc}$	Ângulo da cauda
$L_{bug}$	Comprimento da parte dianteira da aeronave
$D_{eff}$	Relação entre largura e altura da fuselagem
$L_{kabE}$	Comprimento traseiro da aeronave
$L_{heck}$	Comprimento do traseiro da aeronave somado com a cauda
$C_{root}$	Corda da raiz da asa
$C_{tip}$	Corda da ponta da asa

$b$	Envergadura da asa
$\lambda$	Razão de afilamento
$S$	Área da asa
$A$	Razão de aspecto
$\Lambda$	Ângulo de enflechamento
$W/S$	Carga alar
$M_{\max}$	Número de mach máximo
$t$	Espessura
$S_{vt}$	Braço de momento da empenagem vertical
$S_{ht}$	Braço de momento da empenagem horizontal

# Sumário

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>31</b>
1.1	Motivação e justificativa	31
1.2	Objetivo geral	32
1.3	Objetivos específicos	32
1.4	Síntese da Metodologia	32
1.5	Organização do Trabalho	33
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA E ASPECTOS GERAIS</b>	<b>35</b>
2.1	Processo de Design Conceitual	35
2.1.1	Detalhamento das fases fundamentais do processo de projeto de aeronaves em geral	36
2.2	LOPA	39
2.3	Desdobramento da função qualidade (QFD)	39
2.4	Categorias dos jatos executivos	40
2.4.1	Jatos muito leves	41
2.4.2	Jatos leves	41
2.4.3	Jatos de médio porte	43
2.4.4	Jatos supermédios	45
2.4.5	Jatos <i>large</i>	47
2.5	Comparativo de todas as aeronaves	48
<b>3</b>	<b>ANÁLISE DO MERCADO DA AVIAÇÃO</b>	<b>51</b>
3.1	Perfil do comprador executivo	51
3.2	Demanda da aviação geral durante a pandemia da COVID-19	54
3.2.1	No Mundo	54
3.2.2	No Brasil	55
3.3	Situação da Aviação Geral no pós-pandemia	55
3.3.1	No Mundo	55
3.3.2	No Brasil	57
3.4	Recuperação da Aviação Executiva	60
3.4.1	No Mundo	60
3.4.2	No Brasil	62
3.5	Perspectivas de mercado até 2026	63
3.5.1	Visão geral do mercado	63
3.5.2	Visão do mercado por categoria	65
3.6	Escolha da categoria de jato executivo	67

<b>4</b>	<b>DEFINIÇÃO DOS REQUISITOS DA AERONAVE CONCEITUAL</b>	<b>69</b>
<b>4.1</b>	<b>Comparativo das aeronaves do tipo <i>large</i></b>	<b>69</b>
<b>4.2</b>	<b>Escolha dos requisitos</b>	<b>71</b>
4.2.1	Desdobramento da Função Qualidade	71
4.2.2	Custo	74
4.2.3	Máximo Peso de carga útil	74
4.2.4	Alcance	75
4.2.5	Velocidade máxima de cruzeiro	76
4.2.6	Quantidade de passageiros	76
4.2.7	Altitude máxima de operação	77
4.2.8	Requisitos Finais	77
<b>5</b>	<b>DEFINIÇÃO DO <i>CROSS SECTION</i> E LOPA BÁSICO DA AERONAVE CONCEITUAL</b>	<b>79</b>
<b>5.1</b>	<b>Comparativo do interior das aeronaves do tipo <i>large</i></b>	<b>79</b>
5.1.1	Bombardier	79
5.1.1.1	Global 5500	79
5.1.1.2	Global 6000	81
5.1.1.3	Global 6500	83
5.1.2	Dassault	85
5.1.2.1	Falcon 7X	85
5.1.2.2	Falcon 8X	86
5.1.3	Gulfstream	87
5.1.3.1	G500	87
5.1.3.2	G600	89
5.1.3.3	G650 e G650ER	90
5.1.4	Todas as fabricantes	93
<b>5.2</b>	<b>Escolha do interior</b>	<b>94</b>
5.2.1	Desdobramento da função qualidade	94
5.2.2	LOPA básico da aeronave conceitual	97
<b>6</b>	<b>DIMENSIONAMENTO</b>	<b>101</b>
<b>6.1</b>	<b>Estimativa preliminar de peso</b>	<b>101</b>
<b>6.2</b>	<b>Peso de combustível</b>	<b>102</b>
<b>6.3</b>	<b>Peso Vazio</b>	<b>107</b>
<b>6.4</b>	<b>Projeto estrutural fuselagem</b>	<b>108</b>
<b>6.5</b>	<b>Geometria da Asa</b>	<b>111</b>
<b>6.6</b>	<b>Geometria da Empenagem</b>	<b>121</b>
<b>7</b>	<b>PROPOSTA DE CONFIGURAÇÃO DE INTERIOR</b>	<b>127</b>

<b>7.1</b>	<b>Estrutura básica</b> . . . . .	<b>127</b>
<b>7.2</b>	<b>Poltrona</b> . . . . .	<b>131</b>
7.2.1	Poltrona do cockpit . . . . .	135
<b>7.3</b>	<b>As seções</b> . . . . .	<b>137</b>
7.3.1	Cockpit . . . . .	137
7.3.2	Galley . . . . .	138
7.3.3	Seção 1 da cabine . . . . .	140
7.3.4	Seção 2 da cabine . . . . .	144
7.3.5	Seção 3 da cabine . . . . .	145
7.3.6	Banheiro traseiro . . . . .	146
<b>7.4</b>	<b>Análise de conforto</b> . . . . .	<b>147</b>
7.4.1	Análise do RULA . . . . .	149
7.4.2	Cockpit . . . . .	158
7.4.3	Mobilidade . . . . .	160
<b>7.5</b>	<b>Obrigatoriedades emergenciais</b> . . . . .	<b>169</b>
<b>7.6</b>	<b>Iluminação</b> . . . . .	<b>173</b>
<b>7.7</b>	<b>LOFT da aeronave conceito</b> . . . . .	<b>175</b>
<b>7.8</b>	<b>Comparativo com as aeronaves da categoria</b> . . . . .	<b>176</b>
<b>7.9</b>	<b>Trabalhos futuros</b> . . . . .	<b>177</b>
<b>8</b>	<b>CONCLUSÃO</b> . . . . .	<b>179</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> . . . . .	<b>181</b>
	<b>APÊNDICES</b> . . . . .	<b>185</b>
	<b>APÊNDICE A – DESENHOS</b> . . . . .	<b>187</b>
	<b>ANEXOS</b> . . . . .	<b>201</b>
	<b>ANEXO A – DIMENSIONAMENTO DE PESO</b> . . . . .	<b>203</b>
	<b>ANEXO B – GEOMETRIA DA ASA</b> . . . . .	<b>205</b>

# 1 Introdução

Os serviços proporcionados pela aviação executiva estabelecem distinções marcantes em relação à aviação comercial, destacando-se em atributos como conforto, privacidade e, sobretudo, velocidade. Este último, considerado um dos benefícios mais cruciais, possibilita retornos financeiros para os usuários, decorrentes dos incrementos de produtividade associados aos profissionais que fazem uso desse serviço. Indivíduos como *Chief Executive Officers* (CEOs) e diretores de grandes corporações industriais ou financeiras frequentemente apresentam um valor de hora trabalhada superior ao custo horário de determinadas modalidades de utilização de aeronaves executivas. Vale ressaltar que esse cenário é agravado pelas horas “perdidas” nos procedimentos em solo exigidos pela aviação comercial, que envolvem extensos processos de *check-in*, inspeções pessoais e de bagagem de mão, embarque-desembarque e coleta-entrega de bagagens em aeroportos cada vez mais congestionados. Além disso, os passageiros da aviação de negócios desfrutam da oportunidade de trabalhar durante o voo com total privacidade, tanto em termos pessoais quanto em comunicações de voz e dados, podendo contar, inclusive, com salas de reuniões exclusivas, em conformidade com o conceito de “escritório no céu”. (MIGON, 2011)

O mercado executivo possui uma clientela exigente e exclusiva, o que faz com que o desafio para os agradares seja grande, então nesse contexto, a abordagem conceitual não responde apenas aos requisitos técnicos e de desempenho, mas também, sobretudo, incorpora as preferências exclusivas dos usuários e futuros compradores.

Ao adentrar no processo inicial do design conceitual de uma aeronave desse tipo, este trabalho visa oferecer uma visão maior sobre como a criação de aeronaves de negócios pode ultrapassar as expectativas do mercado.

Assim, mediante uma análise de concorrência e mercado, este trabalho propõe contribuir para o avanço no setor, promovendo o desenvolvimento de uma aeronave eficaz, capaz de auxiliar na redefinição de padrões de excelência no cenário da aviação executiva.

## 1.1 Motivação e justificativa

A razão fundamental por trás da elaboração deste trabalho reside na intenção de elucidar o procedimento de concepção de uma aeronave de caráter executivo. A fim de concretizar esse objetivo, é importante realizar uma investigação minuciosa do mercado, examinando as propriedades intrínsecas à aviação executiva e identificando as demandas preeminentes desse setor. Somente por meio desse estudo criterioso será viável e pertinente avançar no desenvolvimento da referida aeronave dentro do contexto do mercado.

## 1.2 Objetivo geral

Desenvolver uma análise ergonômica de um jato executivo, definindo o loft básico do projeto aeronáutico e uma possível LOPA (*Location of Passenger Accommodations*).

## 1.3 Objetivos específicos

- Definir quais os jatos serão comparados, encontrar as categorias/classes das aeronaves executivas no mercado, encontrar os custos das aeronaves no mercado, estimar o mercado futuro;
- Definir os requisitos finais básicos operacionais da aeronave selecionada utilizando matriz de qualidade;
- Comparar a LOPA das aeronaves da categoria escolhida para refino do design interior da aeronave.
- Definir a configuração da LOPA e a *cross section* da aeronave conceito
- Análise ergonômica da LOPA e *cross section* da aeronave conceitual usando o *software* CATIA V5R21.
- Desenvolver o loft básico da aeronave com a definição de comprimento de fuselagem, posição de motor, asa e empenagens.

## 1.4 Síntese da Metodologia

A metodologia utilizada para a realização desse projeto é baseada no desenvolvimento de um estudo conceitual de uma aeronave, na qual, de acordo com (RAYMER, 2018) e (GUDMUNDSSON, 2014), visam inicialmente compreender e entender quais modelos no mercado já existem.

Com isso, para se aproximar de modelos e configurações que já existem no mercado, o presente trabalho foi dividido nas seguintes etapas: a primeira fase é levantar as aeronaves que são concorrentes diretas da aviação executiva e separá-las em grupos para que se tenha um afunilamento de requisitos e se aproxime mais da categoria escolhida para a aeronave conceitual. No segundo momento é estudar o mercado tanto no período da pandemia da COVID-19 como no período depois da pandemia. Esse estudo visa compreender se o campo da aviação de negócios está aquecida e possui brecha para entrada de mais uma aeronave. Na terceira fase é a definição dos requisitos da aeronave conceitual, e essa escolha é feita em comparação com os jatos concorrentes e nas preferências de escolhas dos usuários, utilizando matriz de qualidade. Os requisitos a serem definidos são:

custo, alcance, velocidade, altitude, número de ocupantes e carga útil. Na quarta etapa é a definição do LOPA e da *cross section* da aeronave conceito. Essa escolha é feita baseada em um levantamento detalhado de todas as aeronaves da mesma categoria e também considerando o que os usuários mais fazem em uma aeronave executiva. A partir disso, é definida as comodidades e equipamentos incluídos no LOPA do conceito.

Para melhor organização do trabalho, foram utilizadas as seguintes ferramentas:

- Microsoft *Excel* para geração de gráficos e da matriz da qualidade
- *Adobe Photoshop* para aprimoramento e edições de imagens
- *CATIA V5R19* para criação de todos os componentes da aeronave conceito

## 1.5 Organização do Trabalho

O presente trabalho está dividido em 8 capítulos, dentre eles:

No primeiro capítulo se localiza a introdução, a motivação e justificativa do trabalho, bem como os objetivos gerais e específicos, a fundamentação metodológica e a organização do trabalho.

No segundo capítulo, se encontram a revisão bibliográfica acerca do processo de *design* conceitual e do desdobramento da função qualidade. Também está presente os aspectos gerais e iniciais dos jatos executivos analisados.

No capítulo número três é feita uma análise do mercado da aviação. Na primeira análise se encontra o perfil dos compradores de jatos executivos. Na segunda análise se concentra na demanda da aviação geral durante a pandemia de COVID-19 tanto no Brasil quanto no mundo. Na terceira é feita uma análise da aviação geral no pós-pandemia no Brasil e no mundo. Na quarta análise o foco se volta ao mercado executivo e sua recuperação frente a pandemia. E na última, é apresentada uma perspectiva do mercado da aviação executiva até o ano de 2026, para que se tenha uma maior base para a escolha da categoria do jato conceitual.

No quarto capítulo se dá conta em relação à definição dos requisitos da aeronave conceitual, assim, é feita uma comparação das aeronaves de mesma categoria no mercado e com isso, definir requisitos da aeronave conceitual como custo, máximo peso de carga útil, velocidade máxima de cruzeiro, alcance, quantidade de passageiros e altitude máxima de operação.

O quinto capítulo é voltado para a definição do *loft* do interior da aeronave conceitual. Essa escolha passa pela comparação detalhada de tudo que as aeronaves concorrentes trazem consigo para a aeronave conceitual poder se basear e se localizar bem frente ao mercado.

No sexto capítulo é focado no dimensionamento de peso, fuselagem, asas e empenagem. Neste contexto, alguns parâmetros definidos no quinto capítulo poderão ser alterados para melhor adequação do projeto.

No sétimo capítulo, é apresentado a proposta de configuração do interior da aeronave, com apresentação dos monumentos, análise ergonômica, mobilidade na cabine, itens de emergência e sugestões para trabalhos futuros.

No último capítulo é mostrado a conclusão do trabalho, com os pontos de desfecho do desenvolvimento e também os desafios encontrados ao longo da escrita.

## 2 Revisão Bibliográfica e Aspectos Gerais

### 2.1 Processo de Design Conceitual

O design de aeronaves pode ser segmentado em três fases primordiais: conceitual, preliminar e detalhada. Inicialmente, partindo dos requisitos que serão discutidos ao longo do presente trabalho, o processo se inicia com o Design Conceitual, no qual os projetistas exploram uma ampla variedade de conceitos de configuração de aeronaves, conduzem estudos comparativos tanto dos designs quanto dos requisitos e, por fim, decidem por um único design, escolhendo, com uma participação significativa do cliente, um conjunto bem equilibrado de requisitos. (RAYMER, 2018).

Na Fase Preliminar de Design, o conceito escolhido é refinado e estudado em detalhes suficientes para a empresa poder comprometer-se com ele com confiança, e na Fase de Design Detalhado, as peças reais são projetadas. Essas peças são, então, fabricadas, montadas e, por fim, realizam voos. (RAYMER, 2018).

O foco principal deste trabalho está no design conceitual. É nesta fase que as questões fundamentais relacionadas à disposição da configuração, tamanho e peso, e desempenho são abordadas. O design conceitual é caracterizado por muitas alternativas de design e estudos comparativos, além de uma mudança contínua e evolutiva nos conceitos de aeronaves sob consideração. (RAYMER, 2018).

A pergunta crucial é: “É possível construir uma aeronave acessível que atenda aos requisitos?” Se não, pode ser necessário revisar ou flexibilizar os requisitos. No Design Conceitual, os requisitos de design são utilizados para orientar e avaliar o desenvolvimento do arranjo geral da aeronave. Este arranjo de design compreende a geometria geral da asa e da cauda, a conformação global da fuselagem e as localizações internas da tripulação, carga útil, passageiros, equipamentos, instalação do motor, trem de pouso e outras características de design. O nível de detalhe no design de configuração não é muito profundo, podendo, por exemplo, representar o trem de pouso apenas como um círculo para o pneu e uma vara para a perna do trem. Um aspecto crucial do design conceitual é sua natureza altamente fluida. O layout do design está constantemente sendo alterado, tanto para incorporar novas descobertas sobre o design quanto para avaliar possíveis melhorias no design. Estudos comparativos e um aumento contínuo na sofisticação da análise levam a uma evolução quase semanal no design. Mudanças podem ser realizadas em todos os aspectos do design, incluindo a geometria da asa, disposição da cauda e até mesmo o número de motores (RAYMER, 2018).

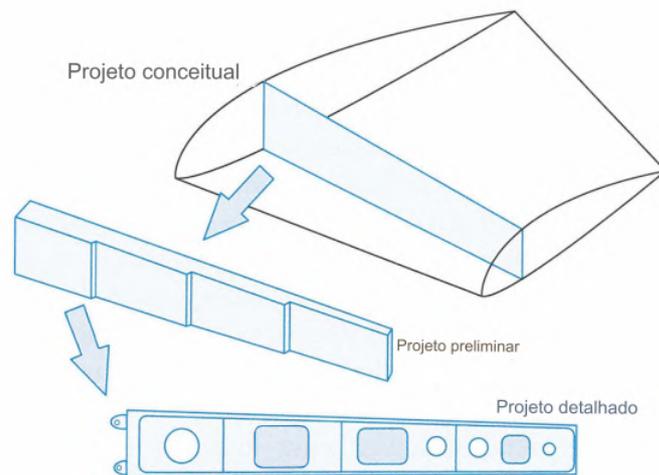


Figura 1 – Fases do Design de uma longarina de asa. Fonte: Modificado de (RAYMER, 2018).

Adicionalmente, durante o processo de design conceitual, diversas alternativas de projetos são analisadas para identificar qual abordagem de design é preferível. Conforme se progride pelas etapas de design conceitual, preliminar e detalhado, a complexidade do design aumenta progressivamente. A Figura (1) exemplifica esse processo utilizando uma componente típica da geometria de aeronaves, a longarina da asa dianteira. A porção superior da Figura (1) representa o design da longarina dianteira com o nível de detalhamento comum ao estágio conceitual. Nesse estágio, a longarina é “projetada” como uma chapa plana, estendendo-se da raiz até a ponta na posição desejada da longarina. Em termos simples, o designer traça uma linha na vista superior da raiz até a ponta, presumindo-se que a longarina possui a profundidade dos perfis aerodinâmicos da asa naquela posição. Embora essa abordagem pareça simplificada, é crucial considerar que, durante essa fase do design, está sendo determinado o arranjo completo da aeronave, onde as interações entre os diversos componentes são mais significativas do que a exatidão geométrica de cada parte individual. (RAYMER, 2018).

### 2.1.1 Detalhamento das fases fundamentais do processo de projeto de aeronaves em geral

De acordo com (GUDMUNDSSON, 2014), o processo de desenvolvimento, geralmente, envolve 5 fases:

#### 1. Fase de requisitos

Sob uma perspectiva específica, os requisitos podem ser comparados a uma extensa lista de desejos. Esta lista representa as expectativas que o novo design deve satisfazer, detalhando as capacidades da aeronave, como velocidade, alcance, altitude,

capacidade de ocupantes, carga útil, entre outros parâmetros que definem sua missão. Os requisitos podem variar desde descrições simples, mencionando apenas as capacidades esperadas (por exemplo, alcance, velocidade de cruzeiro, altitude de cruzeiro e número de ocupantes), até documentos complexos com milhares de páginas, que especificam impacto ambiental, custos operacionais, manutenibilidade, componentes de *hardware* e sistemas aviônicas, para citar apenas alguns exemplos. É interessante assegurar que a aeronave tenha uma probabilidade considerável de atender a esses requisitos, geralmente demonstrada durante a fase subsequente, a fase de design conceitual.

## 2. Fase de design conceitual

A etapa de design conceitual formaliza de maneira oficial o conceito inicial. Nela, são incorporados apenas os elementos de engenharia essenciais para apresentar à administração uma avaliação sólida do desempenho provável, aparência possível e uma compreensão básica do escopo do esforço de desenvolvimento, incluindo a viabilidade de mercado, exigências de mão de obra e estimativas de custos. Geralmente, as seguintes características são delimitadas ao longo dessa fase:

- Tipo de aeronave
- Missão
- Tecnologia
- Estética
- Requisitos de conforto dos ocupantes
- Ergonomia
- Características aerodinâmicas especiais
- Estimativa de custo
- Avaliação da viabilidade de mercado

O encerramento desta etapa envolve a criação de um *loft* inicial e uma avaliação do design conceitual. Isso proporciona à administração a capacidade de decidir, informada sobre a continuidade do projeto, ingressando na fase preliminar de design.

## 3. Fase de design preliminar

A fase de design preliminar, em última instância, verifica a viabilidade da ideia. Ela não apenas identifica possíveis problemas, assim como propõe soluções para esses desafios, mas também produz um modelo refinado que possibilitará a construção de um protótipo funcional. Durante essa fase, são executadas diversas tarefas específicas para alcançar esses objetivos, entre eles:

- Desenvolvimento mais detalhado da geometria
- Estimativa de peso
- Detalhes da missão
- Desempenho
- Avaliação da capacidade de missão
- Estimativa preliminar de custo de produção
- Avaliação de certificação
- Avaliação de facilidade de manutenção

De maneira ideal, ao término desta fase, obtém-se um conjunto abrangente de desenhos e uma avaliação preliminar do design.

#### 4. Fase de design detalhado

O estágio de design detalhado concentra-se principalmente na conversão do conceito inicial da fase preliminar em um formato que pode ser concretizado e, eventualmente, usado para voo. É importante notar que esse processo é significativamente mais complexo e envolve uma série de tarefas, das quais uma descrição resumida está apresentada a seguir:

- Design detalhado
- Estudo de tecnologias
- Negociações com fornecedores
- Design detalhado de estruturas
- Design detalhado da mecânica
- Fabricação de *mock-up*
- Logística de materiais e equipamentos

O encerramento dessa etapa envolve a configuração externa definitiva e a estrutura interna destinadas à Prova de Conceito (POC). Tipicamente, isso assinala o início do planejamento da construção, embora, na maioria das vezes, esse processo tenha início bem antes da conclusão da fase de design detalhado.

#### 5. Fase de testes de prova de conceito

A fase de fabricação da aeronave POC (Prova de Conceito) ou protótipo tem seu início durante a etapa de design detalhado. Especialmente para empresas consolidadas que têm a intenção de colocar o design em produção, esse é um processo intrincado, uma vez que a elaboração do processo de produção, incluindo toda a documentação e os protocolos de garantia de qualidade, está sendo desenvolvida simultaneamente. Abaixo estão mencionadas algumas das atividades realizadas durante esse período:

- Revisões de design detalhado
- Aplicação de tecnologias selecionadas
- Projeto e fabricação de ferramentas
- Testes gerais de estruturas, aviônicas, mecânicas e entre outros
- Fabricação e montagem

O ponto mais alto dessa etapa é representado pelo primeiro voo da aeronave POC. Após esse marco, ocorrem os testes de voo de desenvolvimento.

Cada fase apresentada acima não possui um momento exato de fim e início, sendo assim, normalmente uma fase se inicia ao mesmo tempo que outra está acontecendo. Como, por exemplo, a fase preliminar começa antes do término da fase conceitual (GUDMUNDSSON, 2014). Por isso, neste trabalho, pode ter alguns aspectos da fase preliminar durante a realização da fase anterior, conceitual.

## 2.2 LOPA

O desenho de especificações para a configuração da aeronave, conhecido como LOPA (Location of Passenger Accommodations), representa o design interior e o layout da cabine detalhadamente. Por meio da LOPA, são identificadas as posições do cockpit, dos assentos para a tripulação e passageiros, dos lavatórios, das cozinhas, dos equipamentos de emergência, entre outros elementos. A inclusão de equipamentos de emergência na LOPA proporciona um registro detalhado dos números de peça de todos os equipamentos de emergência, contribuindo para uma visão abrangente do interior da aeronave (IALTA, 2022).

## 2.3 Desdobramento da função qualidade (QFD)

Resumidamente, o QFD (*Quality Function Deployment*) é uma abordagem que pode ser empregada no planejamento estratégico, gerando impactos significativos, incluindo um aprimoramento abrangente da qualidade. Isso significa atender aos desejos e necessidades dos clientes de maneira ampla: oferecer o que o cliente deseja adquirir e disponibilizar o produto ou serviço no momento desejado pelo mercado, antecipando-se à concorrência.

Compreender plenamente esses desejos e necessidades dos clientes, combinado com a eliminação de problemas no design de produtos, pode resultar em uma redução significativa das falhas do produto, aproximando-se de 74%, alcançada pela soma de 45% e 29%. (Figura 2) e os demais motivos de falhas são por outras ocasiões não identificadas.

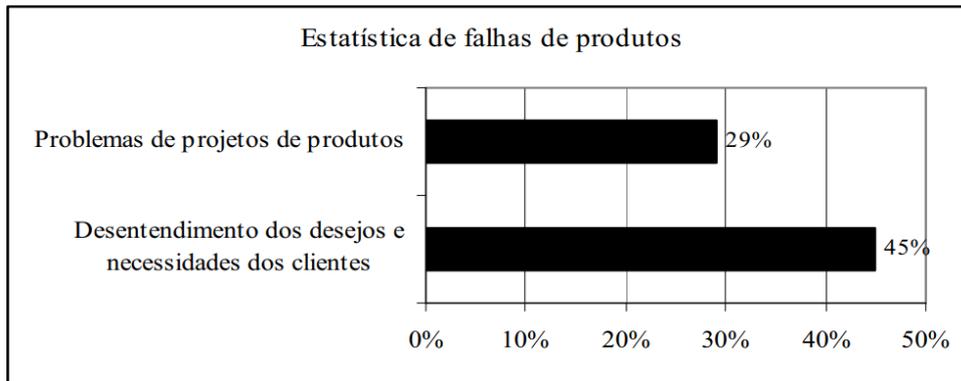


Figura 2 – Estatística de falhas de produtos no mercado. Fonte: (UJIHARA; CARDOSO; CHAVES, 2006).

Essa diminuição potencial pode ser atingida, por exemplo, por meio do método QFD, transformando os requisitos do consumidor em características de qualidade do produto e desenvolvendo a qualidade do projeto do produto final por meio de desdobramentos sistemáticos das relações entre os requisitos do consumidor e as características do produto (UJIHARA; CARDOSO; CHAVES, 2006).

Para que isso seja feito, (UJIHARA; CARDOSO; CHAVES, 2006) divide em 3 fases: A primeira etapa é a busca de dados dos usuários. Esses clientes deverão responder quais as suas preferências num escopo já definido. Em segundo momento é feito a casa da qualidade, o ponto inicial do projeto, onde são inseridos os dados coletados do mercado na fase anterior, e onde começa o processo de organização e transformação dos desejos e necessidades dos clientes em características mensuráveis. Em essência, a casa da qualidade é uma estrutura que relaciona os requisitos pretendidos pelo cliente com as características ou especificações do projeto que podem ser quantificadas. É definido pesos diferentes (na forma numérica) nos requisitos mais importantes do projeto e concomitantemente, do cliente. Por último é feito uma análise dessa ferramenta, vendo quais as configurações que possuíram maiores relevâncias e com isso, incorporar nas decisões do projeto.

## 2.4 Categorias dos jatos executivos

Para a maioria das pessoas, a imagem de um jato privado típico remete a uma versão em escala reduzida de um avião comercial, apresentando um interior luxuoso. No entanto, são poucos os que estão cientes da diversidade de opções disponíveis ao considerar a aquisição de uma aeronave desse tipo. As aeronaves privadas são categorizadas como jato leve, jato de médio porte, jato grande ou turbo-hélice, considerando suas dimensões e o tipo de motor utilizado. (MURPHY; SIMON, 2021). Neste trabalho será dado enfoque apenas para os de tipo motor a jato. As classificações possuem as seguintes características:

### 2.4.1 Jatos muito leves

Categoria de jatos com capacidade entre 4 a 6 passageiros. Geralmente possui uma cabine limitada de facilidades, mas lavatórios são normalmente instalados. Possui um alcance aproximado de 1600 km e uma velocidade acima de *mach* 0.62. Os exemplos de aeronaves privadas nessa categoria se encontra no Quadro (1)

Quadro 1: Aviões a jato muito leves

Aviões	
Fabricante	Modelo
Cirrus	CF50 Vision Jet
Embraer	Phenom 100EX
Honda	HA-420 HondaJet



(a) CF50 Vision Jet. Fonte:([CIRRUS, 2024](#))



(b) Phenom 100EX. Fonte:([EMBRAER, 2024](#))



(c) HA-420 HondaJet. Fonte:([HONDA, 2024](#))

Figura 3 – Jatos muito leves

### 2.4.2 Jatos leves

Segmento de jatos com capacidade entre 6 a 8 passageiros. Tipicamente possui um alcance menor que a maioria dos jatos mais largos e se encaixa melhor a quem necessita de transporte de curta distância de até 8 passageiros. A altura e largura da aeronave não é como das categorias acima, porém, esse segmento exala conforto. Oferece facilidades de bancos reclináveis, ar condicionado e alguns eletrônicos a bordo. Possui um alcance aproximado de 2400 km e uma velocidade entre *mach* 0.52 e 0.58. Os exemplos de aeronaves privadas nessa categoria se encontra no Quadro (2).



(a) Learjet 70. Fonte:([BOMBARDIER, 2024](#))



(b) Learjet 75. Fonte:([BOMBARDIER, 2024](#))



(c) Phenom 300. Fonte:([EMBRAER, 2024](#))



(d) PC-24. Fonte:([PILATUS, 2024](#))



(e) Citation M2 Gen2. Fonte:([CESSNA, 2024](#))



(f) Citation CJ3+. Fonte:([CESSNA, 2024](#))



(g) Citation CJ4 Gen4. Fonte:([CESSNA, 2024](#))



(h) Citation XLS+ Gen2. Fonte:([CESSNA, 2024](#))

Figura 4 – Jatos leves

Quadro 2: Aviões a jato leves

Aviões	
Fabricante	Modelo
Bombardier	Learjet 70
	Learjet 75
Embraer	Phenom 300
Pilatus	PC-24
Textron	Citation M2 Gen2
	Citation CJ3+
	Citation CJ4 Gen4
	Citation XLS+ Gen2

### 2.4.3 Jatos de médio porte

Classe de jatos com capacidade entre 5 a 10 passageiros. Esse tipo de jato possui um aumento em seu alcance em relação ao modelo leve, o que faz com que seja possível voos transatlânticos e com incremento de maior conforto devido a uma maior cabine. Oferece facilidades de uma cabine pressurizada, 2 pilotos, lavatório e espaço de trabalho a bordo. Possui um alcance aproximado entre 3200 a 4800 km e uma velocidade entre *mach* 0.56 e 0.62. Os exemplos de aeronaves privadas nessa categoria se encontra no Quadro (3).

Quadro 3: Aviões a jato de médio porte

Aviões	
Fabricante	Modelo
Bombardier	Challenger 300
	Challenger 350
Embraer	Praetor 500
Textron	Citation Latitude
	Citation Longitude



(a) Challenger 300.  
Fonte:([BOMBARDIER, 2024](#))



(b) Challenger 350.  
Fonte:([BOMBARDIER, 2024](#))



(c) Praetor 500. Fonte:([EMBRAER, 2024](#))



(d) Citation Latitude. Fonte:([CESSNA, 2024](#))



(e) Citation Longitude. Fonte:([CESSNA, 2024](#))

Figura 5 – Jatos de médio porte

#### 2.4.4 Jatos supermédios

Categoria de jatos com capacidade entre 8 a 10 passageiros. Em termos de dimensões, esses jatos são incrivelmente populares, oferecendo uma sensação de cabine espaçosa altamente atrativa. Além disso, eles se destacam por custos operacionais mais baixos em comparação com suas contrapartes mais pesadas, o que confere a essa categoria uma característica especial e distintiva. Oferece facilidades um ambiente de mais luxo, sala para os passageiros e bagageiro. Possui um alcance aproximado de 5500 a 5800 km e uma velocidade entre *mach* 0.63 e 0.76. Os exemplos de aeronaves privadas nessa categoria se encontra no Quadro (4).

Quadro 4: Aviões a jato super médios

<b>Aviões</b>	
<b>Fabricante</b>	<b>Modelo</b>
Bombardier	Challenger 604
	Challenger 605
	Challenger 650
Dassault	Falcon 2000LXS
	Falcon 900LX
Embraer	Praetor 600
Gulfstream	G280



(a) Challenger 604. Fonte:([BOMBARDIER, 2024](#))



(b) Challenger 605. Fonte:([BOMBARDIER, 2024](#))



(c) Challenger 650. Fonte:([BOMBARDIER, 2024](#))



(d) Falcon 2000XLS. Fonte:([DASSAULT, 2024](#))



(e) Falcon 900LX. Fonte:([DASSAULT, 2024](#))



(f) Praetor 600. Fonte:([EMBRAER, 2024](#))



(g) G280. Fonte:([GULFSTREAM, 2024](#))

Figura 6 – Jatos super médios

### 2.4.5 Jatos *large*

Segmento de jatos com capacidade entre 10 a 18 passageiros. proporcionam um novo patamar de alcance, conforto e capacidade em comparação com os tipos de aeronaves que foram examinados até agora. De maneira propositada, os jatos *large* foram concebidos para possibilitar o desenvolvimento normal das atividades empresariais durante o voo. Essas aeronaves têm a capacidade de serem equipadas com uma ampla variedade de comodidades, que vão desde áreas destinadas a refeições e mesas de conferência até chuveiros e dormitórios a bordo. Sendo altamente personalizáveis e aptas a operar em diversas condições meteorológicas devido à sua altitude de voo, essas aeronaves são estrategicamente projetadas para cruzar continentes. Possuem um alcance aproximado de mais de 11000 km e uma velocidade entre *mach* 0.62 e 0.72. Os exemplos de aeronaves privadas nessa categoria se encontra no Quadro (5).

Quadro 5: Aviões a jato do tipo *large*

Aviões	
Fabricante	Modelo
Bombardier	Global 5500
	Global 6000
	Global 6500
Dassault	Falcon 7X
	Falcon 8X
Gulfstream	G500
	G600
	G650
	G650ER



(a) Global 5500.  
Fonte:(BOMBARDIER, 2024)



(b) Global 6000.  
Fonte:(BOMBARDIER, 2024)



(c) Global 6500.  
Fonte:(BOMBARDIER, 2024)



(d) Falcon 7X.  
Fonte:(DASSAULT, 2024)



(e) Falcon 8X.  
Fonte:(DASSAULT, 2024)



(f) G500.  
Fonte:(GULFSTREAM, 2024)



(g) G600.  
Fonte:(GULFSTREAM, 2024)



(h) G650.  
Fonte:(GULFSTREAM, 2024)



(i) G650ER.  
Fonte:(GULFSTREAM, 2024)

Figura 7 – Jatos large

## 2.5 Comparativo de todas as aeronaves

Neste trabalho, será dado enfoque às aeronaves mais vendidas no ano de 2022. A canadense *Bombardier* possui o maior número de aeronaves na comparação e possui as mais diferentes configurações. É importante salientar que o número de ocupantes da Tabela (1) se relaciona com as condições de alcance e velocidade que estão presentes na mesma tabela. Todos os modelos possuem variação de número de ocupantes, mas alteraria os demais desempenhos e complicaria na hora dos comparativos.

Tabela 1 – Comparativo de requisitos das aeronaves mais vendidas em 2022

Fabricante	Modelo de Aeronaves	Configuração	Alcance - NBAA IFR (nm)	Vel. Máxima de Cruzeiro (ktas)
<b>Bombardier</b>	Learjet 70	6	2000	436
	Learjet 75	6	2040	453
	Challenger 300	8	3340	459
	Challenger 350	10	3200	470
	Challenger 604	10	4119	459
	Challenger 605	10	4123	459
	Challenger 650	8	4000	470
	Global 5500	11	5900	504
	Global 6000	12	6000	504
	Global 6500	12	6600	504
<b>Cirrus</b>	SF50	2	950	300
<b>Dassault</b>	Falcon 2000LXS	8	4151	453
	Falcon 900LX	8	4750	459
	Falcon 7X	11	5950	488
	Falcon 8X	11	6450	488
<b>Embraer</b>	Phenom 100EX	4	1178	406
	Phenom 300	5	2010	464
	Praetor 500	6	3340	466
	Praetor 600	6	4018	466
<b>Gulfstream</b>	G280	6	3600	482
	G500	11	5300	516
	G600	12	6600	516
	G650	12	7000	516
	G650ER	12	7500	516
<b>Honda</b>	HA-420 HondaJet	5	1188	422
<b>Pilatus</b>	PC-24	6	2040	440
<b>Textron</b>	Citation M2 Gen2	8	1550	404
	Citation CJ3+	6	1904	404
	Citation CJ4 Gen2	7	1991	451
	Citation XLS+ Gen2	8	1976	440
	Citation Latitude	6	2700	446
	Citation Longitude	6	3500	483

Fonte: Brochure de cada aeronave e (FLAP, 2023)

## 3 Análise do Mercado da Aviação

### 3.1 Perfil do comprador executivo

Embora o crescimento da riqueza figure como um impulsionador crucial na demanda por jatos privados, é essencial reconhecer que outros elementos, como o desenvolvimento do mercado, o nível de infraestrutura disponível, a abordagem tributária adotada e a cultura envolvente na aviação privada, desempenham papéis fundamentais nesse cenário. Esses fatores contribuem para explicar a disparidade regional no que diz respeito ao número de jatos privados, um fenômeno que contrasta com uma maior homogeneidade na distribuição da população de indivíduos ricos. Como exemplo, a Ásia se destaca por possuir o segundo maior contingente de pessoas ricas por região, mas, ao mesmo tempo, mantém-se como um mercado relativamente pequeno, embora em ascensão veloz, para a aviação privada (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021).

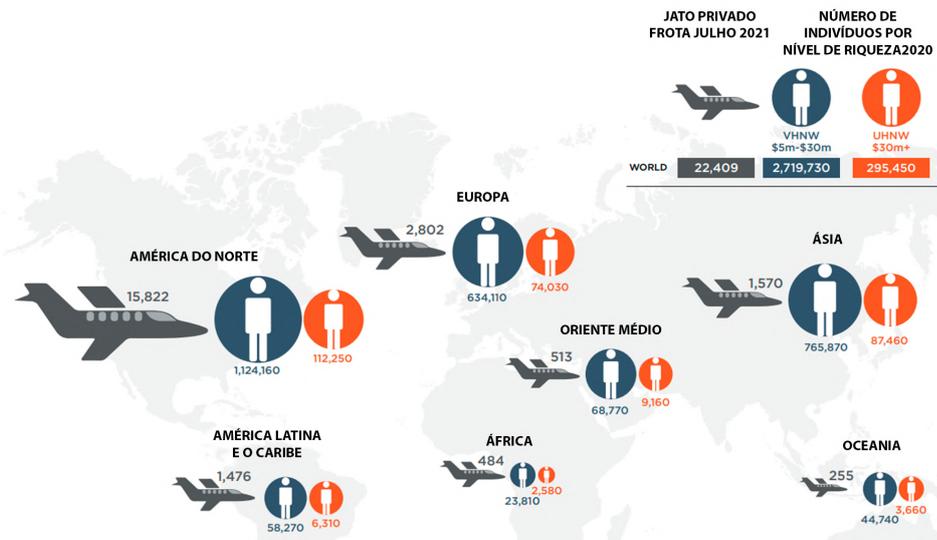


Figura 8 – Jatos particulares registrados e populações ricas no mundo. <sup>1</sup>Fonte: Modificado de (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021)

Considerando suas necessidades e preferências, pessoas de elevado poder aquisitivo têm à disposição quatro principais maneiras de acessar aeronaves privadas: a aquisição completa de uma aeronave, a propriedade fracionada (uma fração de um jato) (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021).

<sup>1</sup>Os números de jatos executivos são de 19 de julho de 2021. A antiga União Soviética também está incluída na Europa. VHNW significa indivíduos com patrimônio líquido muito alto, entre US\$5 a US\$ 30 milhões. UHNW denota os ultra ricos com mais de US\$ 30 milhões de patrimônio líquido. Em relação ao número de indivíduos, este está arredondado para o 10 mais próximo. O tamanho dos círculos UHNW e VHNW é equiparado ao próprio nível de riqueza (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021).

Mesmo que a população dos ultras ricos seja bem menor do que dos muito ricos (Figura 8), eles detêm majoritariamente as propriedades das aeronaves particulares no mundo. Isso porque os proprietários plenos de jatos ostentam um patrimônio líquido mediano de US\$ 190 milhões, um montante que ultrapassa em US\$ 50 milhões comparado aos seus colegas que possuem frações de jatos e é substancialmente superior ao patrimônio líquido médio de um indivíduo com riqueza ultra alta (UHNW, na sigla em inglês). Para esses indivíduos, os benefícios advindos da propriedade integral, tais como controle total, acesso irrestrito e personalização completa, superam alguns dos riscos financeiros associados a esse tipo de posse, os quais englobam a depreciação do ativo e os custos contínuos de manutenção (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021).

Para ser possível entender o perfil dos donos dos jatos executivos, será interessante separar 3 grupos:

- Proprietários UHNW integrais de jato
- Proprietários UHNW parciais de jato
- População UHNW geral

Este último é o grupo que é apenas UHNW sem propriedade de qualquer tipo de jato.

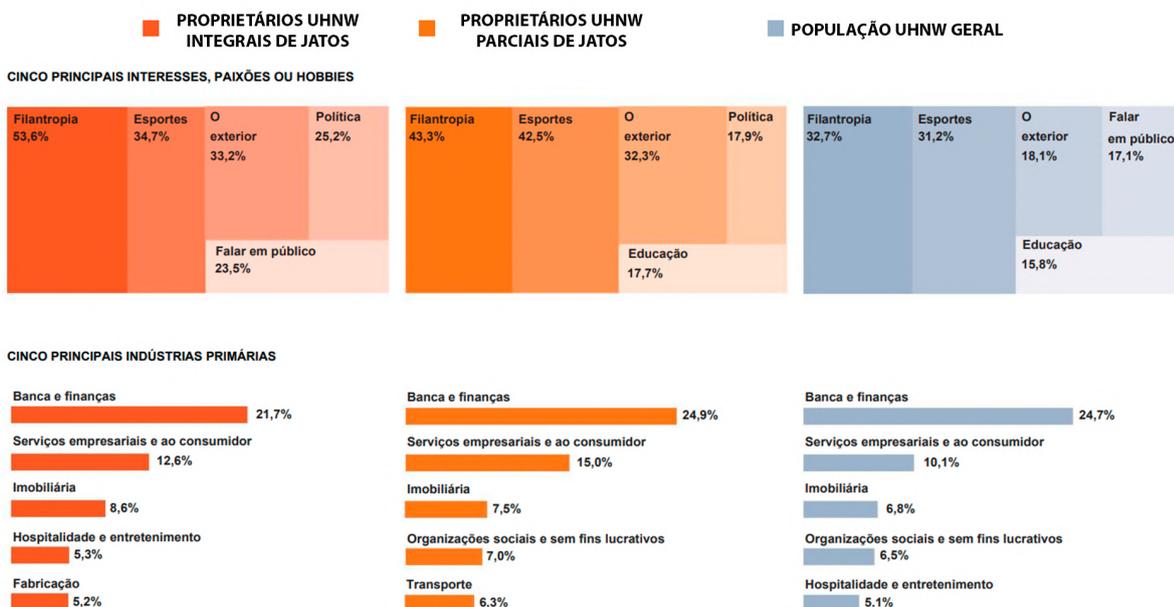


Figura 9 – Interesses, paixões, hobbies e atividades dos UHNW<sup>2</sup> Fonte: Modificado de (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021)

<sup>2</sup>Por conta dos arredondamentos, os totais podem não chegar a 100%.

Embora a filantropia seja o interesse predominante em toda a população ultra rica (Figura 9), os proprietários de jatos, especialmente aqueles com propriedade integral, demonstram uma paixão singular por ela. Isso pode ser explicado, em parte, pelo elevado nível de riqueza desse grupo, proporcionando-lhes uma maior liberdade para se envolver em iniciativas filantrópicas significativas e, possivelmente, experimentar uma maior obrigação em contribuir para causas benevolentes. Adicionalmente, os proprietários de jatos estão mais envolvidos em uma gama mais ampla de interesses, evidenciado pela maior participação em cada um dos cinco principais passatempos (bem como nos classificados mais abaixo na lista da Figura (9)).

As suas atividades na indústria primária<sup>3</sup> são bem distribuídas. Os 3 tipos de grupo trabalham majoritariamente no ramo de banco e finanças, seguido de atividades de serviços empresariais e ao consumidor (Figura (9)).

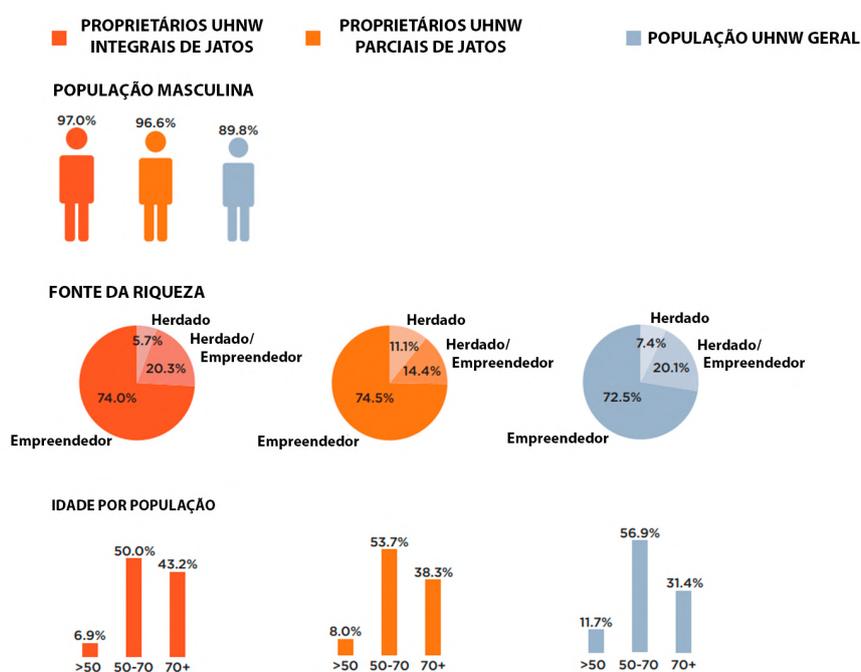


Figura 10 – Características dos proprietários de jatos e do grupo UHNW. Fonte: Modificado de (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021)

É entendível na Figura (10) que quase a totalidade dos compradores totais e parciais dos jatos executivos são do sexo masculino, com 97% e 96,6% respectivamente. Esses 2 seletos grupos trabalham por si só como empreendedor, majoritariamente. As idades dos donos UHNW de jatos variam de 50 a 70 anos, sendo que aqueles que possuem aeronaves integrais, são mais velhos.

<sup>3</sup>A indústria primária significa a atividade na qual os ricos ficam na maior parte do seu tempo. Não necessariamente a fonte de suas riquezas (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021).

## 3.2 Demanda da aviação geral durante a pandemia da COVID-19

### 3.2.1 No Mundo

Até 3 de setembro de 2020, os impactos da pandemia na demanda global por transporte aéreo de passageiros foram evidentes, refletindo-se em uma redução mensal de 49% no número de assentos disponíveis, totalizando 250 milhões em comparação com os 487 milhões registrados em setembro de 2019 (Figura 4). Apesar da distribuição dessa perda por todas as principais regiões, as discrepâncias em sua extensão foram notáveis. A Ásia destacou-se positivamente, apresentando uma perda de 33%, seguida por Europa e América do Norte, ambas com perdas superiores a 50%. O desfecho líquido foi o fortalecimento da posição da Ásia como a região de aviação mais proeminente no cenário pós-COVID-19. Embora a América Central e o Caribe tenham tido um desempenho ligeiramente superior à América do Norte, com uma perda de 49%, o Oriente Médio (incluindo Catar e Emirados Árabes Unidos) assemelhou-se mais às grandes regiões do sul global, com uma perda expressiva de quase 63%. Esse acentuado reforço da divisão norte-sul foi provocado pelas transformações desencadeadas pela pandemia. As maiores perdas foram observadas nas três grandes regiões do hemisfério sul: a África sofreu uma perda de quase 60%, a América do Sul mais de 70% e o Sudoeste do Pacífico 73% (RIMMER, 2020). Todas essas ocorrências estão ilustradas na Figura 11.

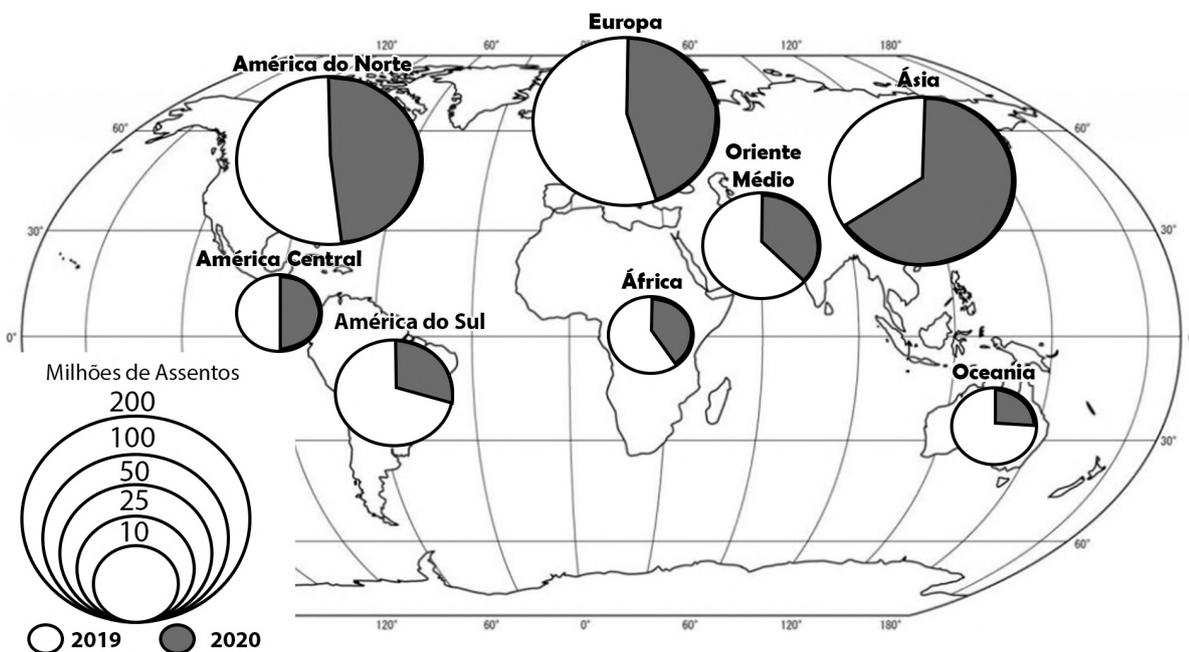


Figura 11 – Declínio na demanda mundial em setembro de 2020 em relação a setembro de 2019. Fonte: Adaptado de (RIMMER, 2020)

Quantitativamente, a tabela 2 mostra o impacto da pandemia no número de lugares

ocupados.

Tabela 2 – Mudanças nos assentos ocupados nas macros regiões em comparação entre os anos de 2019 e 2020

Macro Regiões	Set 2019 (Milhões)	Set 2020 (Milhões)	Variação (%)
Ásia	169.4	112.7	-33.4
Europa	134.6	60.2	-55.2
América do Norte	102.5	47.9	-53.3
América Central e Caribe	12.5	6.3	-49.2
África	14.3	5.7	-59.5
Oceania	12.1	3.2	-73.6
América do Sul	22.9	6.7	-70.6
Global	487.8	250.1	-48.7

Fonte: Adaptado de ([RIMMER, 2020](#))

### 3.2.2 No Brasil

No Brasil a situação não foi diferente. O cenário da pandemia da Covid-19 gerou um colapso na malha aérea. De acordo com a Figura 12, todas as principais cidades do país no ramo aeronáutico, sofreram decréscimo de movimento de passageiros e com agravante de que 14 das 20 metrópoles obtiveram uma variação negativa de mais da metade do movimento constatado no ano anterior ao da pandemia, 2019. Em relação ao cenário nacional, o Brasil apresentou um decréscimo de 53% no movimento, registrando cerca de 44 milhões de passageiros em 2020 frente a 93 milhões do mesmo período do ano anterior. É interessante salientar que a série 1 demarcada no gráfico corresponde com o ano de 2019 e a série 2 corresponde ao ano de 2020.

## 3.3 Situação da Aviação Geral no pós-pandemia

Neste trabalho, o pós-pandemia vai ser encarado como o período de transição entre 2021 e 2022, mais perto de 2022.

### 3.3.1 No Mundo

A pandemia de COVID-19 provocou uma reconfiguração significativa na indústria da aviação e do turismo em diversos aspectos, com os impactos variando entre as diferentes regiões globais. Essa dinâmica gerou uma série de desafios distintos, alguns específicos e outros de natureza mais generalizada para o setor como um todo ([DUBE, 2022](#)).

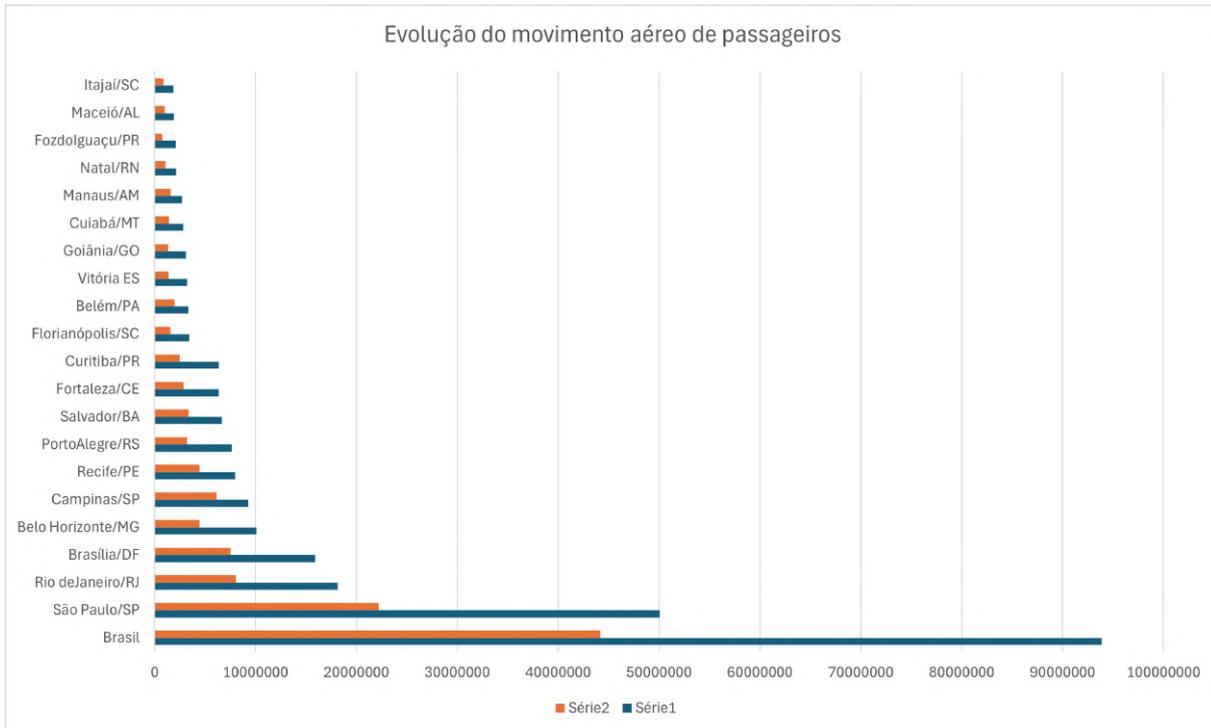


Figura 12 – Impacto da pandemia na aviação brasileira. Fonte: Modificado de (MIGON, 2011)

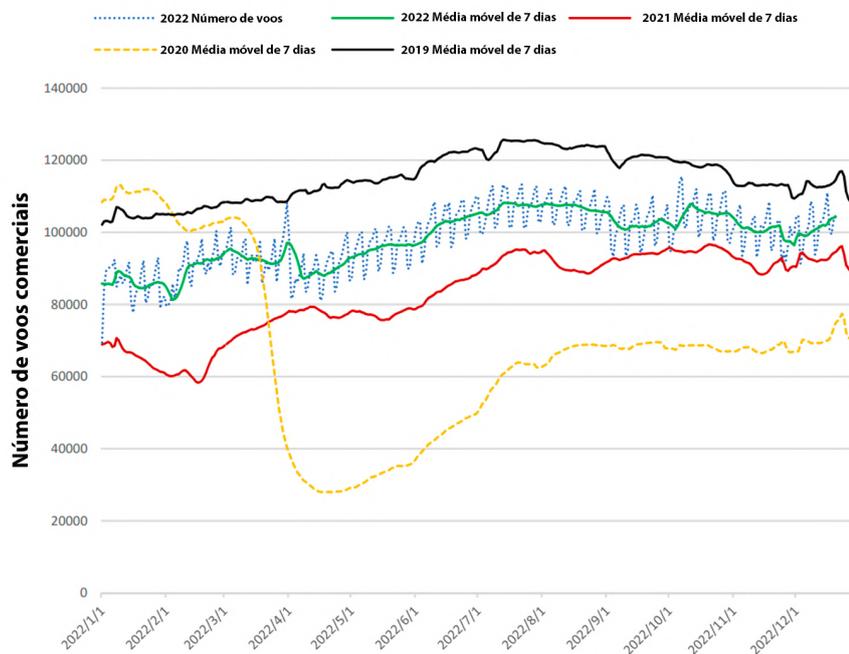


Figura 13 – Evolução do impacto do tráfego global e recuperação da COVID-19. Fonte: Modificado de (DUBE, 2022).

A pesquisa revelou que os efeitos mais severos da pandemia foram percebidos em

2020, com a recuperação iniciando ainda no mesmo ano, na segunda metade (Figura 13), e persistindo ao longo de 2021, intensificando-se em 2022. As evidências indicam um progresso considerável na retomada, com a indústria da aviação se aproximando dos patamares observados em 2019, que servem como referência para avaliar o impacto da COVID-19 no setor. A prolongada fase de declínio na recuperação do tráfego resultou em aeronaves paradas, gerando menos receita. Esse cenário impactou negativamente a cadeia de valor da indústria da aviação, apresentando desafios significativos para a sua plena recuperação. O extenso período de consumo de recursos financeiros resultou em desafios de sustentabilidade para algumas companhias aéreas, empresas aeroportuárias, negócios e funcionários em diversas entidades da aviação. Este quadro é respaldado por estudos prévios que destacam a natureza adversa do impacto da COVID-19 em toda a cadeia de valor da aviação (DUBE, 2022).

### 3.3.2 No Brasil

No decorrer do ano de 2022, o setor aéreo brasileiro evidenciou uma notável melhoria em seus indicadores-chave, marcando o início da recuperação da aviação após os impactos provocados pela pandemia de coronavírus que iniciou em 2020. Em 2022, registrou-se a realização de aproximadamente 831 mil voos, abrangendo tanto o mercado doméstico quanto o internacional, representando um incremento de 39% em comparação com o ano anterior (Figura 14). No mesmo período, cerca de 98 milhões de passageiros foram transportados. (Figura 15).

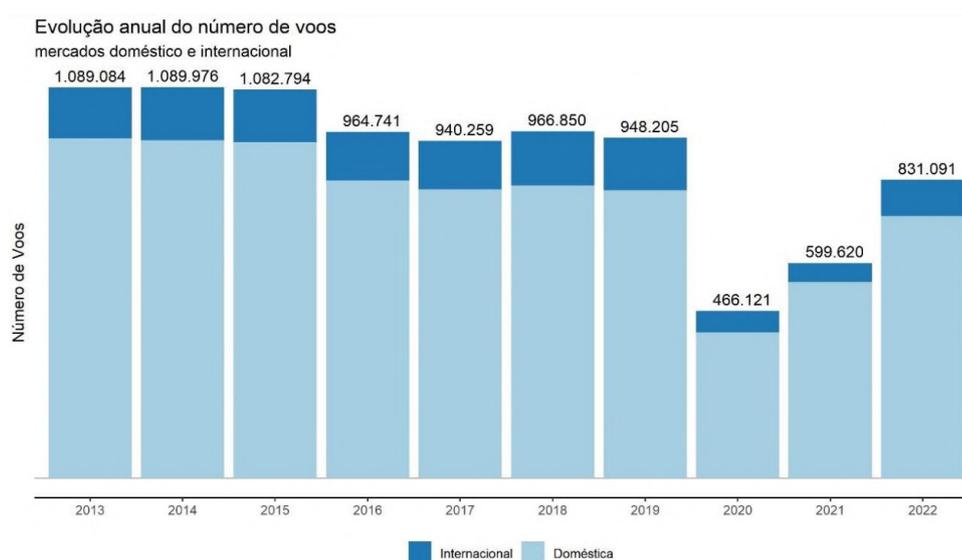


Figura 14 – Evolução anual do número de voos - mercados doméstico e internacional.  
Fonte: (ANAC, 2022)

Análises detalhadas revelam que, no âmbito do mercado doméstico, foram efetuados aproximadamente 731 mil voos, assinalando um aumento de 33,7% em relação a 2021

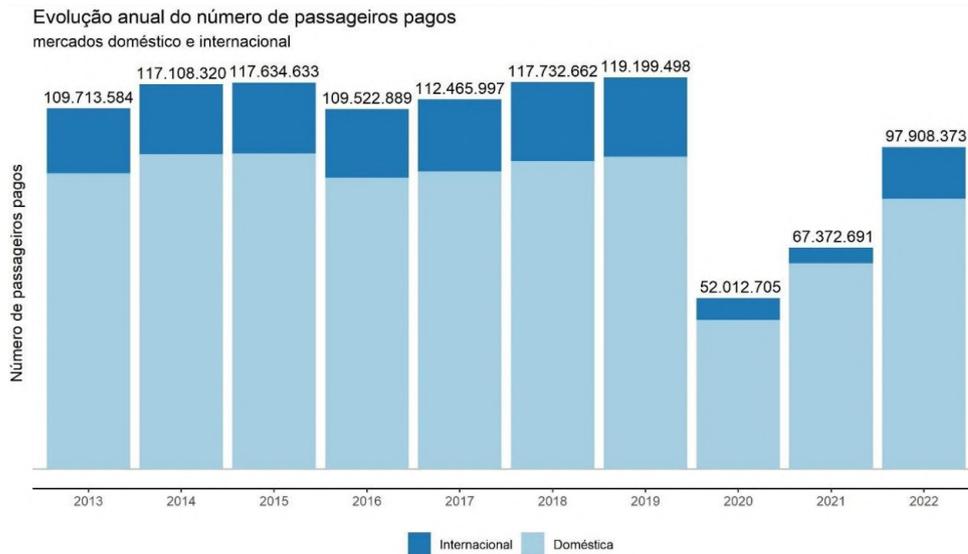


Figura 15 – Evolução anual do número de passageiros pagos - mercados doméstico e internacional. Fonte: (ANAC, 2022)

(Figura 17), com o transporte de 82 milhões de passageiros, representando um acréscimo de 31,4% em relação ao ano anterior (Figura 16).

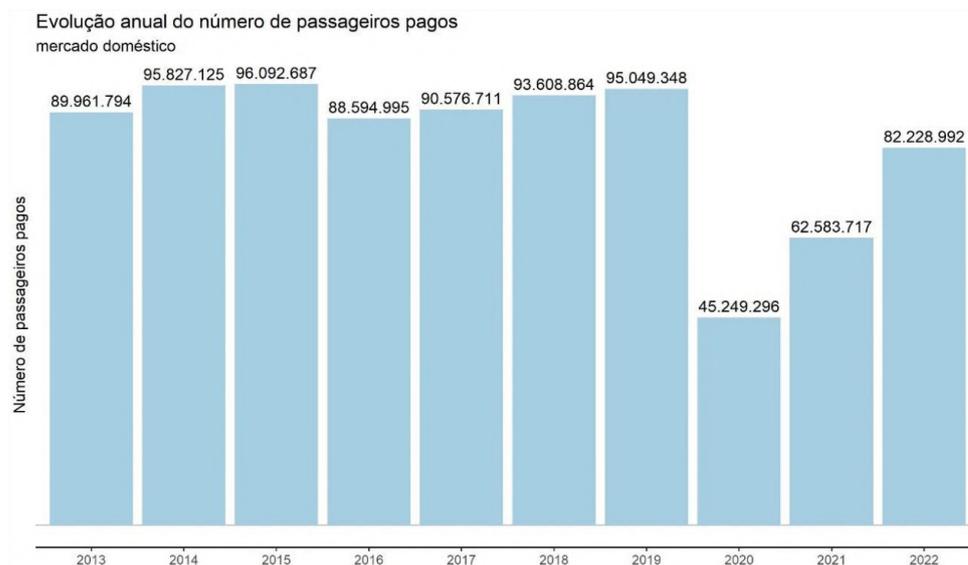


Figura 16 – Evolução anual do número de passageiros pagos - mercado doméstico. Fonte: (ANAC, 2022)

No que concerne ao mercado internacional, a retomada dos índices ocorreu de maneira mais gradual. Nesse cenário, é necessário considerar não apenas a oferta de assentos, mas também fatores econômicos, como a variação cambial. A Figura (19) aponta que foram realizados aproximadamente 100 mil voos internacionais durante o ano, representando um aumento de 89% em relação aos números de 2021, quando foram contabilizados 53 mil voos. O número de passageiros transportados experimentou um aumento de 227%,

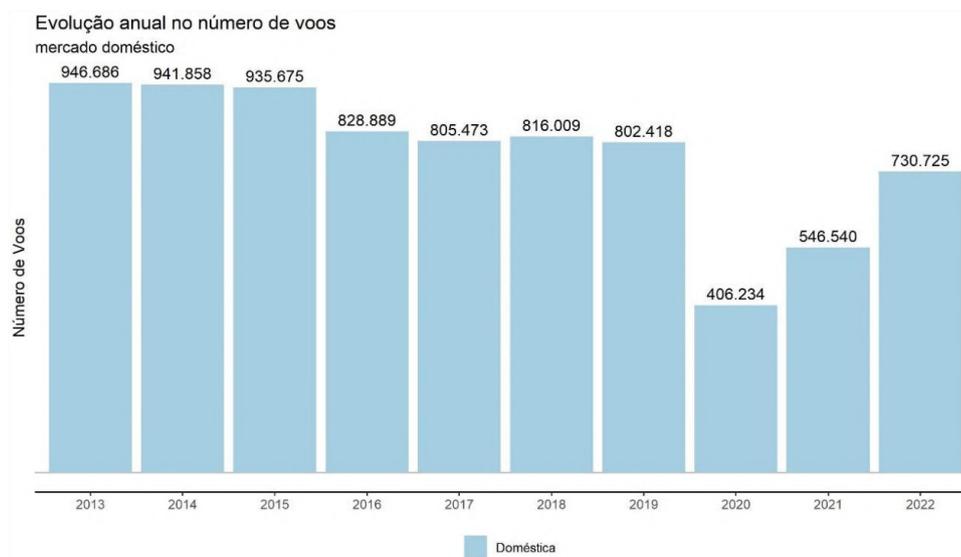


Figura 17 – Evolução anual do número de voos - mercado doméstico. Fonte: (ANAC, 2022)

saltando de 5 milhões para aproximadamente 16 milhões (Figura 18).

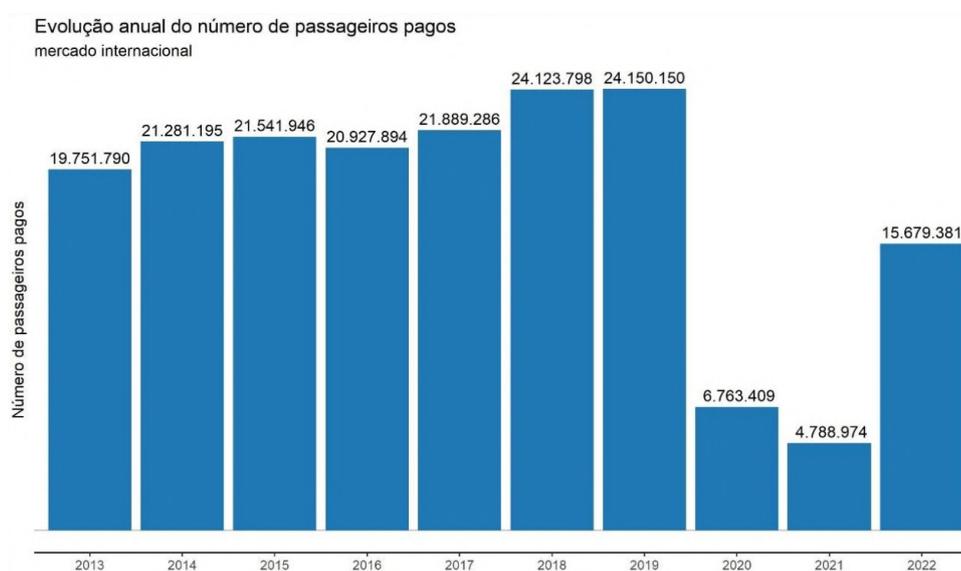


Figura 18 – Evolução anual no número de passageiros - mercado internacional. Fonte: (ANAC, 2022)

Como percebido anteriormente, o setor da aviação no Brasil tem se recuperado em relação à queda causada em 2020. Os números de passageiros e voos domésticos e internacionais apresentaram aumento durante os anos, mas ainda não alcançaram o nível pré-pandemia. Porém, se mantido o nível de crescimento, o mercado da aviação geral tem de tudo para retornar ao patamar anteriormente alcançado.

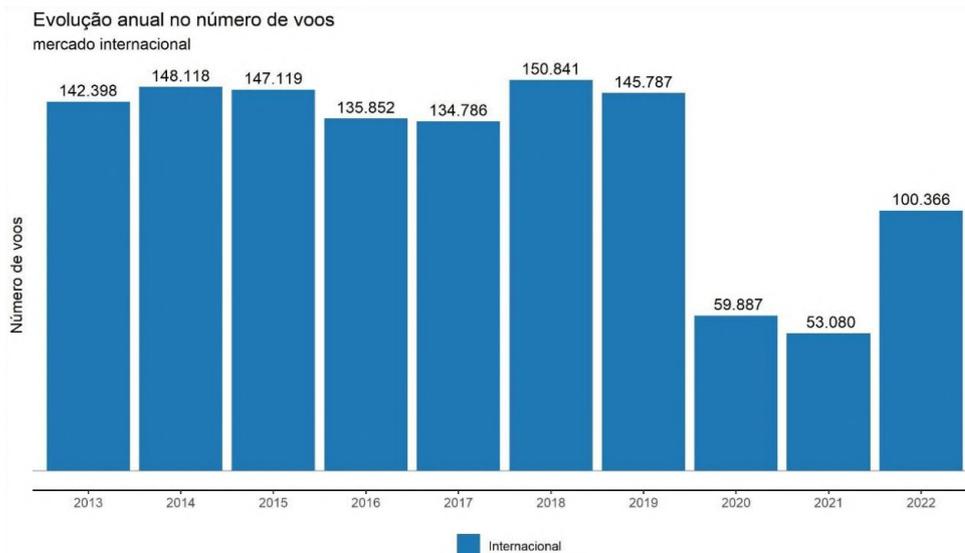


Figura 19 – Evolução anual no número de voos - mercado internacional. Fonte: (ANAC, 2022)

## 3.4 Recuperação da Aviação Executiva

### 3.4.1 No Mundo

O mercado de jatos privados é majoritariamente dominado pela América do Norte, principalmente pelos Estados Unidos, sendo a Europa a segunda região em domínio (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021). Por este motivo, será considerado esses 2 mercados como base para análise da situação da aviação executiva no mundo.

Em termos gerais, apesar de ter enfrentado vários anos de interrupções, há indícios de que a aviação executiva está experimentando um período de retomada. A atividade total de voos em 2022 registrou um aumento de 15,5% em comparação com os níveis de 2019, além de apresentar um acréscimo de 5,1% em relação aos níveis de 2021 e o maior aumento foi em relação a 2020, com 51,9% (Figura 20).

Adicionalmente, é importante destacar que as horas totais de voo experimentaram um aumento significativo de 22,1% desde 2019 e de 10,6% em comparação com os níveis registrados em 2021. O aumento tanto no número de voos quanto nas horas de voo não apenas reflete a recuperação contínua da indústria após os impactos da pandemia, mas também sugere um crescimento adicional além dos níveis pré-pandêmicos (ARGUS, 2023).

Já na Europa, retomada da aviação executiva teve seu início em abril como visto na Figura (21), logo após uma significativa queda em março de 2020. No mês de julho de 2020, o segmento conseguiu superar as estatísticas de 2019, embora tenha experimentado declínios subsequentes, voltando a apresentar números positivos durante o período de Natal, em dezembro, e janeiro de 2020 e 2021. Desde junho de 2021, a aviação exe-

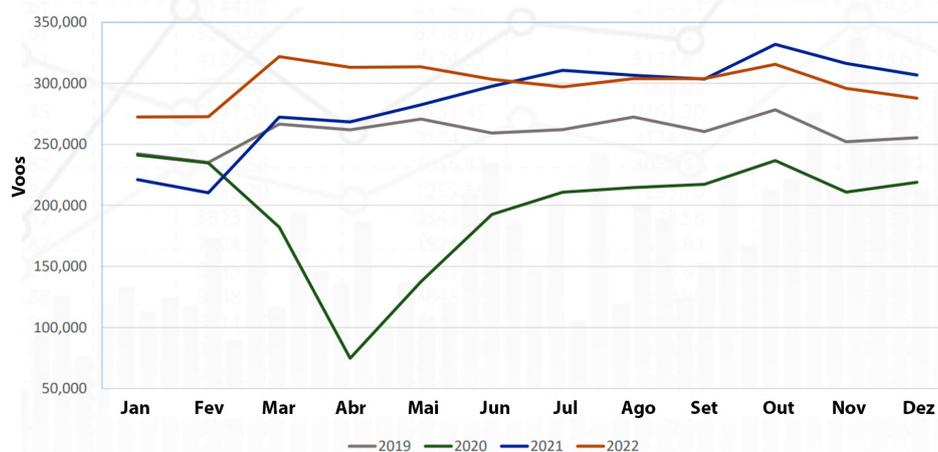


Figura 20 – Atividade do total de voos da aviação executiva nos EUA. Fonte: Modificado de (ARGUS, 2023)

cutiva opera em patamares consideravelmente superiores aos níveis registrados antes da pandemia, evidenciando a notável resiliência desse mercado específico.



Figura 21 – Atuação em porcentagem do mercado europeu e a recuperação da COVID-19. Fonte: Modificado de (DUBE, 2022)

A Figura (21) representa percentualmente a performance em relação com o período antes da pandemia em cada vertente da aviação. É interessante perceber que a aviação executiva no território europeu é a que apresenta o mercado mais aquecido e recuperado da pandemia em relação aos outros setores.

### 3.4.2 No Brasil

O Brasil se encontra na segunda posição em questão de quantidade de jatos executivos, só atrás dos Estados Unidos (IMBERG; SHABAN; WARBURTON, 2021). Isso torna o país forte no quesito de mercado da aviação executiva e por isso, é importante entender a sua situação atual.



Figura 22 – Evolução da frota de jatos no Brasil nos pós-pandemia. Fonte: (FLAP, 2023).

Uma forma de entender a situação da aviação executiva nos pós-pandemia no Brasil, é visualizar o número da frota ao longo dos anos. No gráfico da Figura (22), é possível observar o número da frota de jatos executivos desde o ano de 2021. De lá até abril de 2023, houve um aumento de 17,25%.

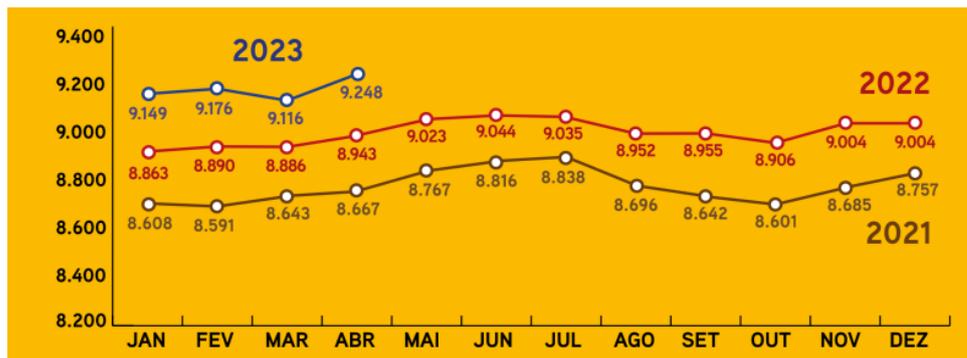


Figura 23 – Frota operacional da aviação de negócios. Fonte: (FLAP, 2023).

Já em relação ao número de frota operacional da aviação de negócios, o aumento é menor do que os de jato, com 7,4% como mostra a Figura (23). Isso é interessante porque demonstra que o número de jatos no Brasil teve um aumento maior do que de todos os tipos juntos. Por final, foi possível observar que o mercado brasileiro nos pós-pandemia ainda é aquecido e novas aeronaves continuam sendo incorporadas em sua frota.

## 3.5 Perspectivas de mercado até 2026

No momento em que os efeitos da COVID-19 começaram a diminuir, surgiu um novo acontecimento, a guerra na Ucrânia, que se apresenta como um desafio global. Para aqueles envolvidos no cenário da aviação executiva, é perceptível que, apesar dos impactos persistentes da pandemia na saúde global e em diversos setores de negócios, a influência dela na aviação executiva foi notavelmente distinta. A pandemia ampliou de maneira mais abrangente uma proposta de valor que sempre foi compreendida pela indústria da aviação executiva. Quanto à situação na Ucrânia, neste estágio, é antecipado um impacto mínimo no mercado da aviação executiva. A indústria reconhece que a relevância da aviação executiva é amplificada em momentos como este, e acredita-se que a indústria permanecerá resiliente ao longo deste período desafiador. Essa perspectiva reflete projeções de atividade futura no mercado de jatos executivos, abrangendo tanto os segmentos de novos quanto de usados em diversas regiões geográficas ao redor do mundo. Em 2021, o mercado de jatos executivos experimentou crescimento à medida que o mundo superava os efeitos da pandemia de COVID-19. Nossas previsões indicam que esse mercado continuará a expandir nos próximos cinco anos, acompanhando o desenvolvimento contínuo da economia global (CAPITAL, 2023).

### 3.5.1 Visão geral do mercado

O total de transações do mercado de jatos executivos registrou um aumento de 24,3% em comparação com o ano anterior, e o volume total de transações em dólares teve um incremento de 23% (Figura 24). Prevê-se que o ritmo de crescimento diminua um pouco em 2022, com uma estimativa de declínio de 8% no total de transações. Contudo, é importante destacar que esse declínio é impulsionado, principalmente, pelas transações envolvendo aeronaves usadas, que, apesar de virem de números recorde em 2021, serão afetadas positivamente pela notável melhoria nas entregas de novas aeronaves. A crescente preferência por aeronaves de grande porte, aliada a aumentos modestos nas novas entregas, é esperada para impulsionar o volume em dólares em 2,6% durante 2022 (CAPITAL, 2023).

Para o período entre 2022 e 2026, as projeções indicam uma continuidade no crescimento. Antecipa-se que as transações totais aumentarão a uma taxa média anual de 1,5%, enquanto o volume em dólares terá um aumento médio anual de 5,1% (Figura 24). Os maiores incrementos, tanto em unidades quanto em volume em dólares, estão previstos para ocorrer em 2023 e 2024. Durante esse intervalo, a expectativa é que os planos dos fabricantes originais (OEM) para aumentar a produção contribuam para elevar a proporção do mercado composta por novas aeronaves. Entre 2022 e 2026, estima-se que as novas aeronaves representarão 55,3% do valor total do mercado, comparado a 53,5% entre 2017 e 2021. No entanto, ao considerar o período de 2002 a 2019 (removendo os

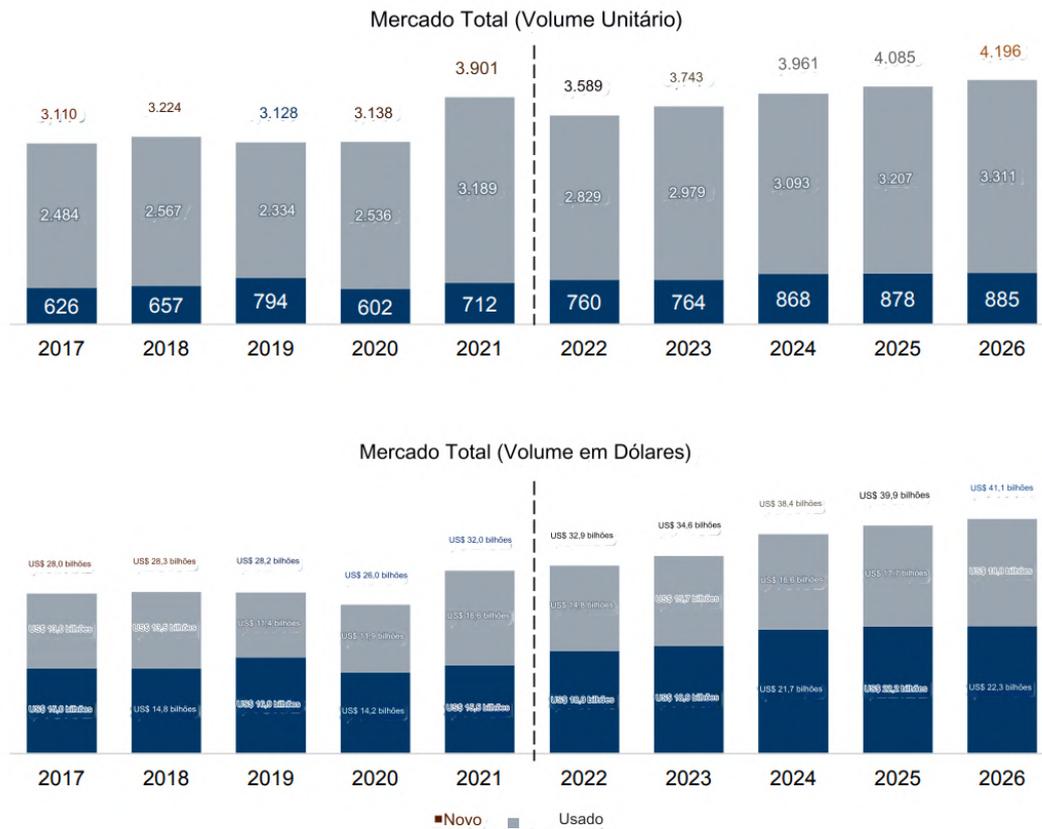


Figura 24 – Perspectiva do volume unitário e em dólares do mercado. Fonte: (CAPITAL, 2023).

anos impactados pela COVID-19 em 2020 e 2021 da amostra), observa-se que as novas aeronaves representavam 57,2% do mercado. Assim, a mudança na composição do mercado sinaliza um retorno às normas históricas (CAPITAL, 2023).

Apesar do aumento nos níveis de produção pelas fabricantes, os novos pedidos experimentaram uma aceleração ainda mais significativa, resultando no impulso dos *backlogs* dos fabricantes. A entrada de novos usuários no mercado está emergindo como um fator-chave que impulsiona a demanda. Além disso, os planos dos fabricantes originais (OEMs) envolvem introduzir diversos modelos novos de aeronaves nos próximos anos. Esses elementos, combinados aos padrões usuais de substituição e atualização, são projetados para sustentar o aumento nas novas entregas nos próximos cinco anos. É previsto um crescimento moderado nas entregas para 2022 (Figura 25), à medida que os OEMs continuam a expandir a produção para atender à crescente demanda. Embora o crescimento deva desacelerar em 2023, prevê-se um novo aumento significativo em 2024. Durante esses períodos, o crescimento será impulsionado por aumentos de produção planejados e pela introdução de novos modelos. Vale ressaltar que, ao longo desses períodos, antecipa-se que o volume em dólares cresça a taxas diferentes do volume em unidades, devido à inclinação

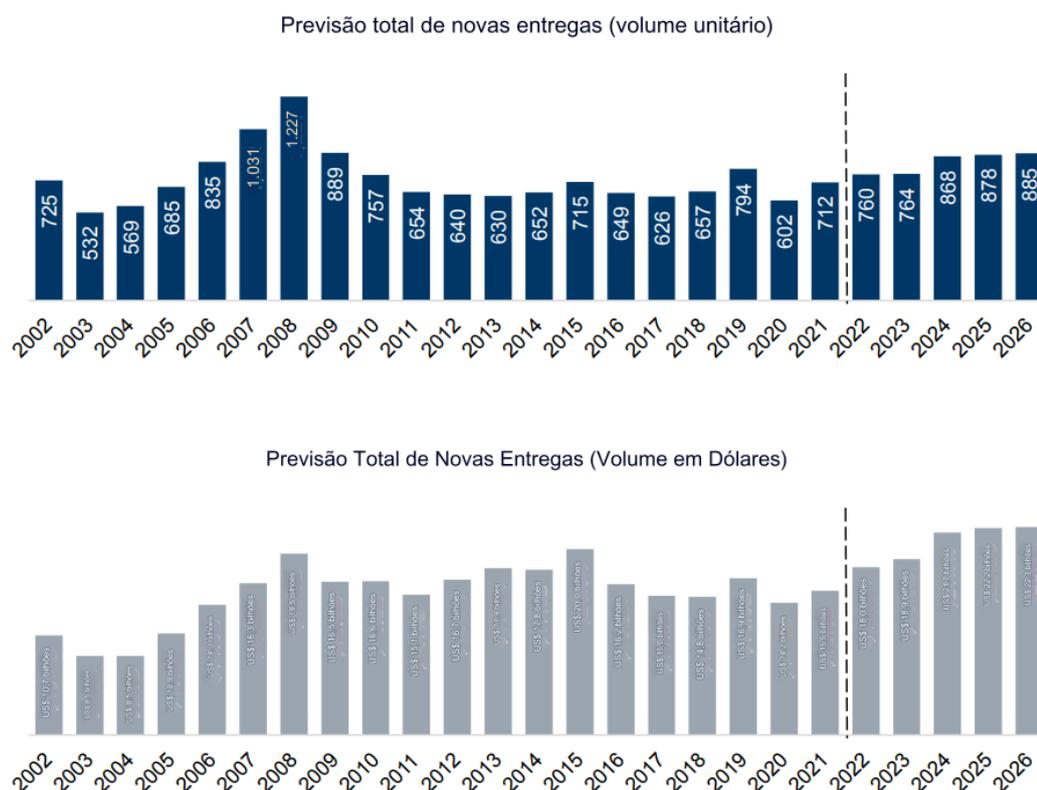


Figura 25 – Previsão total de novas entregas em volume unitário e em dólares. Fonte: (CAPITAL, 2023)

da composição do produto em direção a jatos maiores com a capacidade de atender a diversas necessidades de operadores e usuários de aeronaves. Apesar disso, prevê-se que o período todo seja caracterizado por níveis crescentes de produção para atender à crescente demanda. Conforme a Figura (25), nos próximos cinco anos, estima-se que as novas entregas aumentem a uma taxa média anual de 4,4%, enquanto o volume em dólares aumenta 7,6% no mesmo período. Entre 2022 e 2026, as novas entregas são previstas para totalizar 4.155 unidades, com um valor estimado de \$103,2 bilhões. (CAPITAL, 2023).

### 3.5.2 Visão do mercado por categoria

Prevê-se que os jatos pesados (largos) e médios experimentarão um crescimento mais robusto em comparação com outras categorias. As projeções (Figura 26) indicam que as entregas de jatos pesados aumentarão a uma taxa média anual de 5,6%, enquanto os jatos médios apresentarão um aumento a uma taxa de 6,2% entre 2021 e 2026, superando o crescimento geral do mercado, estimado em 4,4%. A popularidade crescente dessas aeronaves se deve à sua ampla capacidade de passageiros e alcance. Com a retomada das viagens internacionais, espera-se que o atrativo dessas aeronaves de longo alcance aumente

ainda mais. Além disso, os fabricantes planejam introduzir novos modelos no mercado ao longo do período previsto, contribuindo para aprimorar ainda mais seu apelo (CAPITAL, 2023).

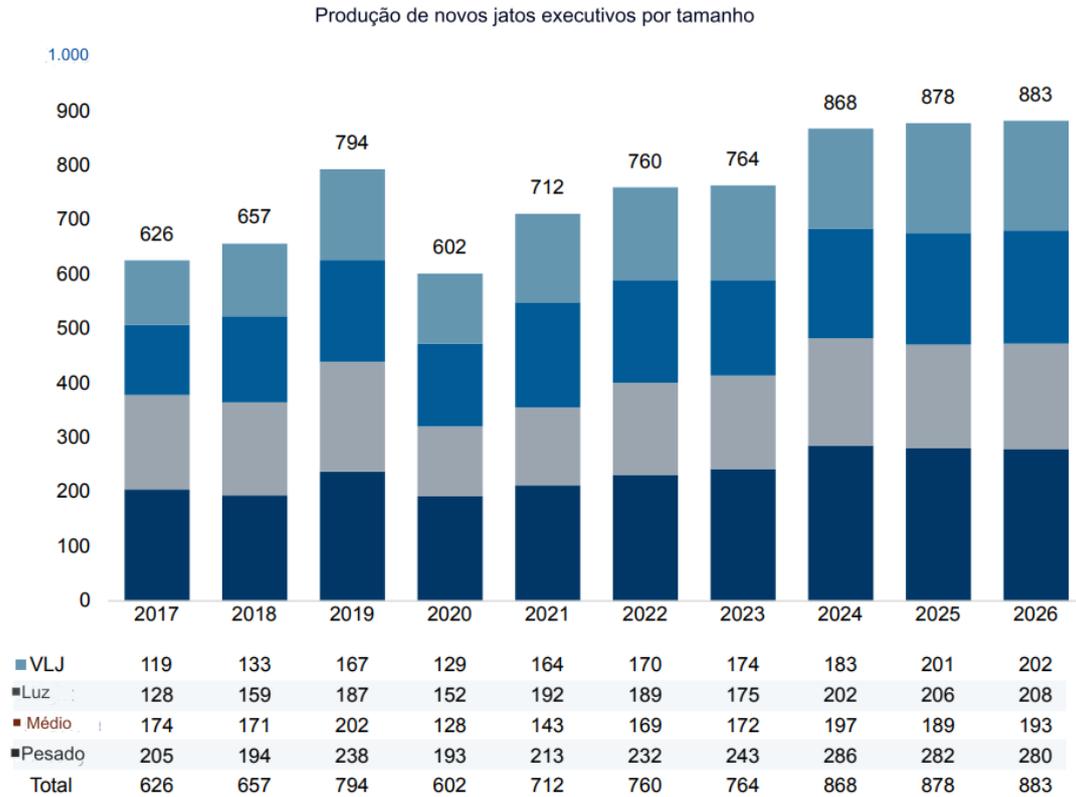


Figura 26 – Produção de novos jatos executivos por tamanho

### 3.6 Escolha da categoria de jato executivo

Para a escolha dos requisitos básicos, é necessário aeronaves já presentes no mercado para serem utilizadas como parâmetro (Tabela 1). Por esse motivo, é necessário afunilar as escolhas e a primeira estratégia é escolher uma categoria específica. Para que essa escolha tenha embasamento e faça sentido na conjuntura de mercado, uma análise de vendas será aqui apresentada.

Tabela 3 – 5 maiores vendas em aeronaves no ano de 2022

Posição	Fabricante	Modelo	Categoria	Vendas
1	Gulfstream	G500	<i>Large</i>	96
		G600	<i>Large</i>	
		G650	<i>Large</i>	
		G650ER	<i>Large</i>	
2	Cirrus	SF-50	Muito Leve	90
3		Global 5500	<i>Large</i>	70
		Global 6000	<i>Large</i>	
		Global 6500	<i>Large</i>	
4	Bombardier	Challenger 300	Médio	50
		Challenger 350	Médio	
		Challenger 604	Super Médio	
		Challenger 605	Super Médio	
		Challenger 650	Super Médio	
5	Textron	Citation Latitude	Médio	42
	Embraer	Phenom 300E	Leve	42

Fonte: Do autor retirado de (GAMA, 2022)

Visto na Tabela (3), os modelos de aeronave G500, G600, G650 e G650ER venceram o *ranking* de aeronaves mais vendidas no ano de 2022 totalizando 96 vendas juntas. Curiosamente, a *Gulfstream* não foi a fabricante com mais vendas no ano, mesmo alcançando 120 encomendas, a empresa ficou atrás da *Bombardier* e *Textron*, com 123 e 178 vendas respectivamente (GAMA, 2022).

Seguindo então o critério de categorias, o de tipo *large* ficou na frente com 163 vendas com 7 aeronaves de 2 fabricantes diferentes. Logo depois, a categoria muito leve alcançou 90 vendas de jatos com 1 fabricante (Figura 3), o que pode ser considerado uma grande diferença.

Considerando os dados da Figura (26), o mercado para novos jatos tem demandado atualmente e futuramente de forma consistente os de categoria de grande porte (largos). Isso fica evidente quando as aeronaves mais vendidas no ano de 2022 foram dessa mesma categoria (Tabela 3). Por essa razão, todos os jatos da Tabela (1) serão filtrados em apenas uma categoria: a de largos. Esse filtro será importante para definição de escopos mais aprofundados.

## 4 Definição dos requisitos da aeronave conceitual

### 4.1 Comparativo das aeronaves do tipo *large*

Os modelos de jatos aqui comparados serão os 9 da categoria *large* apresentados no Quadro (5), seguindo critérios da seção 3.6.

A seguir, apresentam-se os diversos requisitos “centrados no cliente”, ou seja, as genuínas exigências de missão e as capacidades de desempenho procuradas pelos possíveis compradores. Esse conjunto engloba elementos evidentes como alcance, capacidade de carga útil, velocidade e outros. (RAYMER, 2018).

Tabela 4 – Comparação de performance e pesos das aeronaves tipo *large*.

Fabricantes	Modelos	Alcance (km)	Velocidade Máxima de Cruzeiro (mach)	Velocidade de Cruzeiro (mach)	MMO (mach)	Máximo Peso de Carga Útil (kg)	Máxima Altitude de Operação (m)	PAX	Tripulação	Custo (milhões de dólares)
Bombardier	Global 5500	10927	0.88	0.85	0.90	3238	15545	8	3	46
	Global 6000	11112	0.88	0.85	0.89	2617	15545	8	4	68,53
	Global 6500	12223	0.88	0.85	0.90	2617	15545	8	4	58
Dassault	Falcon 7X	11020	0.86	0.80	0.90	2720	15545	8	3	56,49
	Falcon 8X	11945	0.86	0.80	0.90	2223	15545	8	3	65,62
Gulfstream	G500	9816	0.90	0.85	0.925	2381	15545	8	3	49,5
	G600	12223	0.90	0.85	0.925	2966	15545	8	4	59,5
	G650	12964	0.90	0.85	0.925	2948	15545	8	4	69,5
	G650ER	13890	0.90	0.85	0.925	2948	15545	8	4	70

Fonte: Do Autor, retirado dos brochures das aeronaves

No âmbito civil, esses critérios geralmente são estabelecidos pela empresa do setor aeronáutico, levando em consideração as informações fornecidas pelo cliente, a análise de mercado, a avaliação da concorrência, a ponderação dos produtos existentes e, por vezes, até mesmo a intuição (RAYMER, 2018). Por isso, para esse trabalho, será analisado os requisitos propostos pelos concorrentes e o que é mais importante para aqueles que utilizam desse serviço/compradores. Essa análise trará os requisitos da aeronave deste trabalho, pois elas são peças-chave para a escolha de outras definições futuras do jato conceitual.

A Tabela (4) compara requisitos relevantes das aeronaves do tipo *large*. O número de passageiros leva em consideração a performance das aeronaves para esses valores apresentados na Tabela (4). Por isso, o número máximo de ocupantes nos jatos podem ser maiores do que os que estão apresentados, porém, os valores de performance seriam diferentes. Por isso, será utilizado como comparação os dados da Tabela (4).

Tabela 5 – Aeronaves tipo large mais vendidos dos últimos 3 anos.

Fabricantes	Modelos	Vendas últimos 3 anos
Bombardier	Global 5500	156
	Global 6000	
	Global 6500	
Dassault	Falcon 7X	96
	Falcon 8X	
Gulfstream	G500	304
	G600	
	G650	
	G650ER	

Fonte: Do Autor, retirado de (GAMA, 2022)

Em relação às vendas, a Tabela (3) apresenta os maiores números de vendas no ano de 2022 com os modelos da *Gulfstream* liderando e isso se manteve em relação aos últimos 3 anos, de acordo com a Tabela (5). A canadense *Bombardier* aparece bem atrás com quase metade das vendas da líder, 156 vendas em comparação aos 304 da *Gulfstream*.

O (TRAVELER, 2021) e (TRAVELER, 2022) fizeram uma pesquisa (Figura 27) com cerca de 1200 usuários<sup>4</sup> de jatos executivos sobre a qualidade dos fabricantes da Tabela (4) em alguns requisitos. Em aspecto geral, a norte-americana *Gulfstream* foi a mais bem avaliada, o que justifica seu domínio em vendas (Tabela 5).

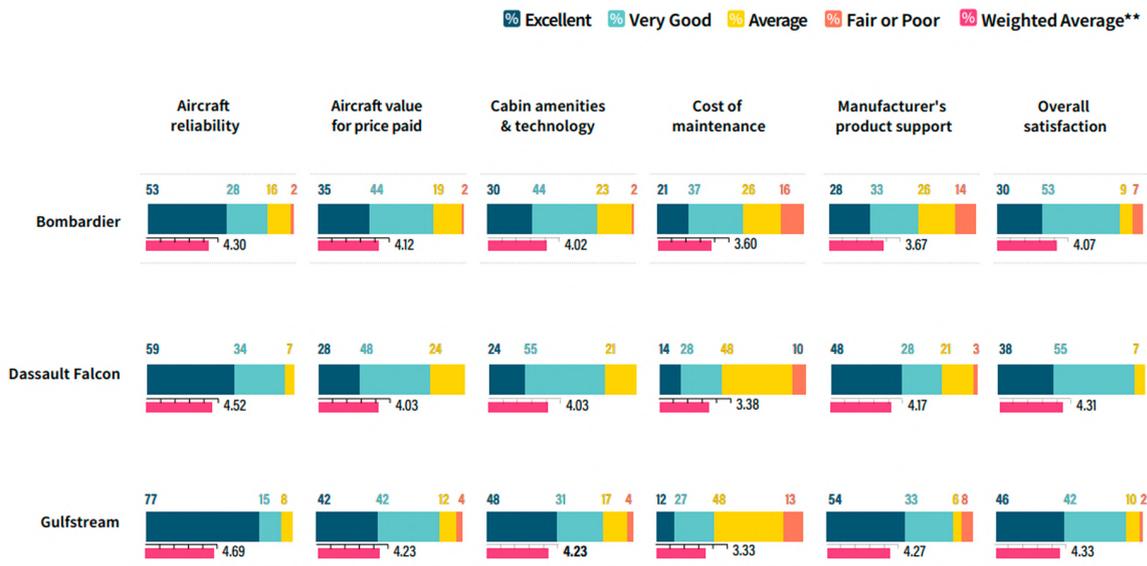


Figura 27 – Avaliação dos usuários em relação às empresas. Fonte: (TRAVELER, 2021).

Essas avaliações serão levadas em consideração nas escolhas dos requisitos da aeronave deste trabalho. A fabricante melhor avaliada em um dado aspecto terá as suas

<sup>4</sup>Usuário, não necessariamente dono

aeronaves com maiores pesos em relação as outras nesse mesmo aspecto levado em análise. Fazendo uma comparação da Tabela (4) com a Figura (27) será equiparado os seguintes requisitos da Tabela (4) com os critérios da Figura (27):

- Confiabilidade da Aeronave:
  - Todos
- Valor da aeronave pelo preço pago:
  - Todos
- Comodidades da cabine e tecnologia:
  - Ocupantes - Custo - Máxima altitude de operação
- Custo de manutenção:
  - Todos
- Suporte do Fabricante:
  - O próprio fabricante - Custo
- Satisfação geral:
  - Todos

Continuando na ênfase às preferências do usuário, eles definiram quais jatos possuem prioridade<sup>5</sup> de escolha.

É notado na Figura (28) que os usuários têm maior preferência a 3 modelos da empresa norte-americana, *Gulfstream*: G500, G650 e G650ER. Essa análise também será levado em conta nas escolhas dos requisitos da aeronave conceitual.

## 4.2 Escolha dos requisitos

### 4.2.1 Desdobramento da Função Qualidade

O desdobramento da função qualidade é uma abordagem direcionada para o processo de desenvolvimento de produtos e serviços, com o objetivo de estabelecer as especificações dos produtos com base na identificação das necessidades dos clientes (MIGUEL, 2009).

O primeiro passo para a escolha dos requisitos funcionais básicos da aeronave conceitual é levantar essa matriz de qualidade. Para isso é interessante entender melhor

---

<sup>5</sup>Não necessariamente uma prioridade de compra, mas quais aeronaves eles preferiram voar.

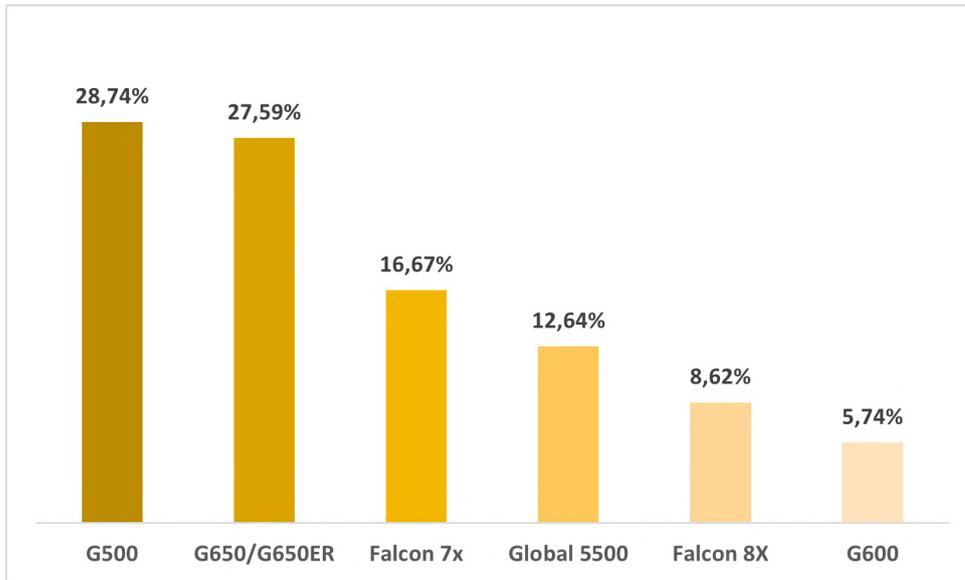


Figura 28 – Preferências de aeronaves dos usuários. Fonte: Do Autor, modificado de (TRAVELER, 2022).

como ela foi dividida. No lado esquerdo da Figura (30) está denotado o VOC (Voz do Cliente). Essa região mostra alguns aspectos avaliados pelos clientes da aviação executiva e também o seu devido grau de importância. Esses aspectos e importância de cada um foram retirados da Figura (29), na qual é a pesquisa do (TRAVELER, 2021). Na parte superior é apresentado os requisitos funcionais da Tabela (4).

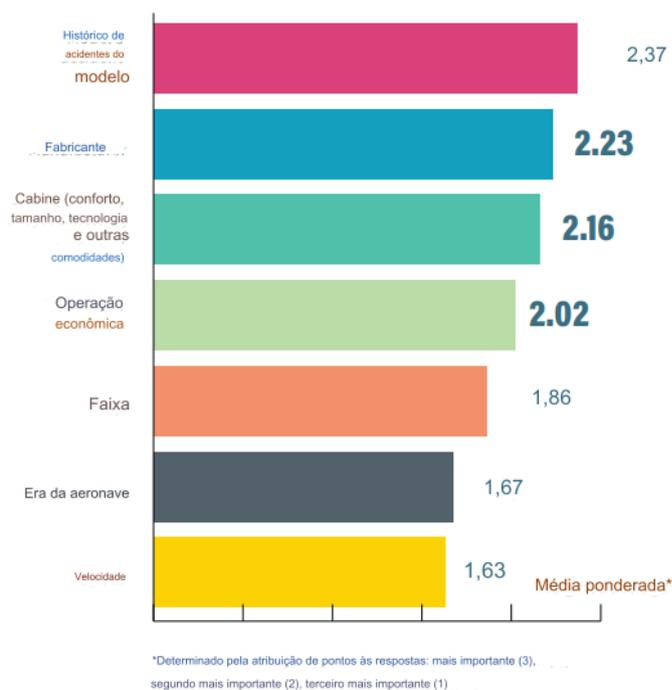


Figura 29 – Avaliação dos usuários sobre alguns requisitos da aviação executiva. Fonte: (TRAVELER, 2021).

Medições  
(9) - Relação Forte  
(3) - Relação Média  
(1) - Relação Fraca

		Requisitos Funcionais								
		Alcance	Velocidade Máxima de Cruzeiro	Máximo peso de carga útil	Máxima altitude de operação	Custo	Velocidade de Cruzeiro	Velocidade Máxima de Operação	PAX	
Voz do Cliente (VOC)	Importância	Medições								
		A	B	C	D	E	F	G	H	
Histórico de acidentes dos modelos	2,4	3	3	9	3	1	3	3	3	
Fabricante	2,2	3	3	3	1	3	3	3	3	
Comodidades da Cabine	2,2	1	1	9	3	9	1	1	9	
Operação Econômica	2	9	9	9	3	9	9	9	9	
Alcance	1,9	9	9	9	9	9	9	9	9	
Idade da Aeronave	1,7	1	1	1	1	1	1	1	1	
Velocidade	1,6	9	9	9	9	9	9	9	9	
Importância Ponderada		67,22	67,22	98,72	54,96	79,76	67,22	67,22	84,5	Soma
% Importância		11,45	11,45	16,82	9,37	13,59	11,45	11,45	14,40	

Figura 30 – Desdobramento da Função Qualidade dos requisitos da aeronave. Fonte: Do Autor

Esses requisitos se ligam com os aspectos dos clientes por três classificações: relação muito forte (9), relação de força média (3), sem relação (1). A partir disso é retirado a porcentagem de importância de cada requisito da Tabela (4).

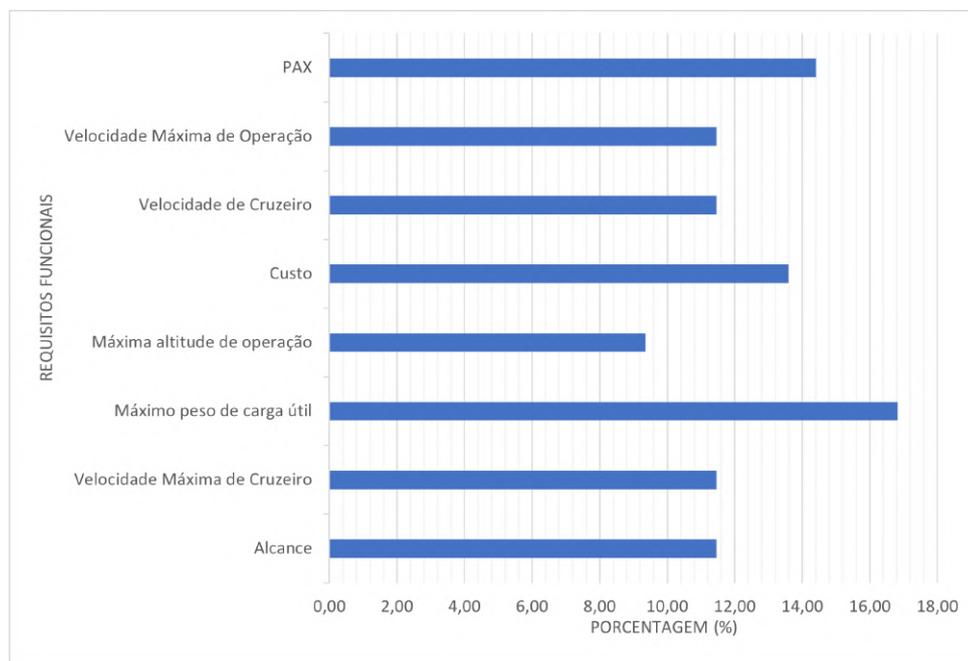


Figura 31 – Gráfico de Pareto sobre os requisitos funcionais. Fonte: Do Autor

Os resultados da matriz de qualidade nos geram o gráfico de Pareto (Figura 31) na qual mostra quais são os requisitos funcionais que precisam dar um maior enfoque em melhora. Que nesse caso são número de passageiros, custo da aeronave, máximo peso de carga útil e depois os demais, em ordem.

### 4.2.2 Custo

Em primeira instância, será definido o custo máximo da aeronave. Levando em consideração que os jatos analisados possuem um valor entre 46 a 70 milhões de dólares (Figura 32) e que de acordo com a Tabela (5) as aeronaves mais vendidas com muita folga nos últimos 3 anos pertencem a *Gulfstream*, é necessário definir um valor de custo competitivo em relação aos jatos dessa empresa: G500, G600, G650 e G650ER.

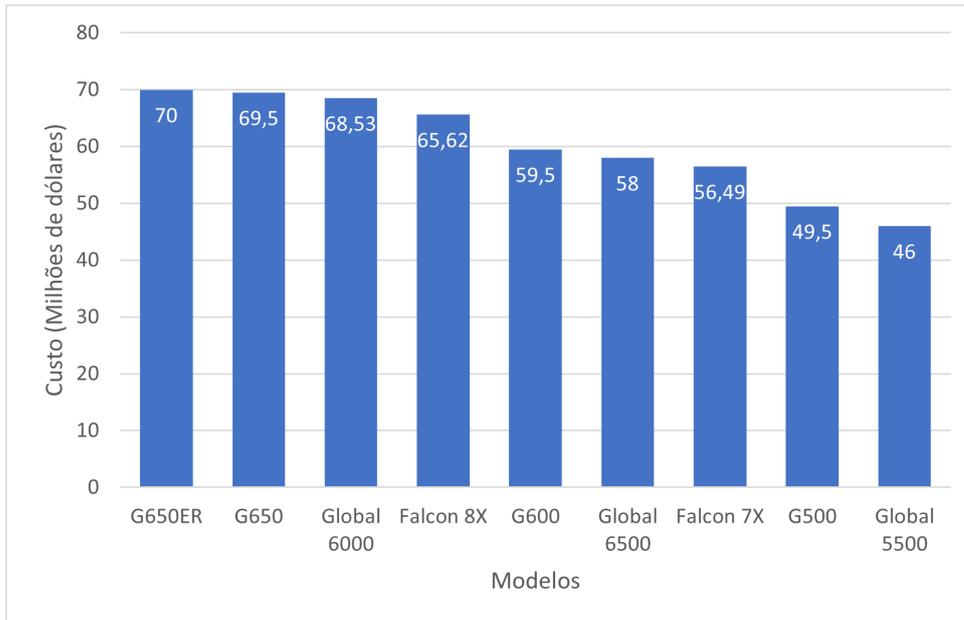


Figura 32 – Custo das aeronaves tipo large. Fonte: Do Autor, retirado de (FLAP, 2023).

Levando em consideração que os usuários possuem uma maior preferência aos modelos G500, G650 e G650ER (Figura 28), é interessante fazer uma média entre seus custos, que será de 62 milhões de dólares. Em concordância com o gráfico da Figura (31) em que o requisito de custo obteve 13,59% de importância, o valor do custo da aeronave conceitual terá essa porcentagem a menos em relação à média entre os 3 jatos. Com isso, é encontrado um valor de custo de no máximo 53 milhões de dólares para a aeronave deste trabalho. Esse valor é menor que a média entre os 3 e maior que o do G500, porém, os outros requisitos do jato conceitual equilibrará essa diferença com o G500.

### 4.2.3 Máximo Peso de carga útil

Na Figura (33) é possível ver uma análise da relação do máximo peso útil das aeronaves em relação ao custo. Esse requisito possui a maior relevância no gráfico da Figura (31). Fazendo a média de carga das aeronaves em comparativo e aplicar a porcentagem de 16,32% de importância do gráfico da Figura (31) como aumento dessa carga, a aeronave conceitual terá uma máxima carga de carga útil de 3000 kg. A linha pontilhada em vermelho denota o limite máximo de custo da aeronave conceitual. A linha pontilhada

em verde denota o máximo peso de carga útil da aeronave conceitual. Esse valor é mais vantajoso em relação à linha de tendência (pontilhado preto).

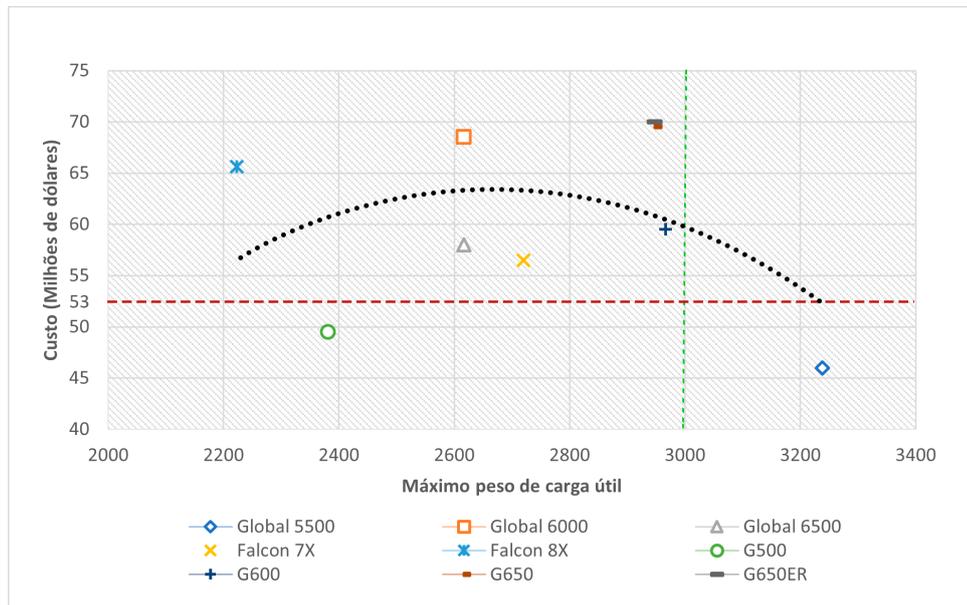


Figura 33 – Máximo peso de carga útil em relação ao custo das aeronaves tipo large.  
Fonte: Do Autor

#### 4.2.4 Alcance

Para levar um novo jato executivo para o mercado, é interessante manter um alcance próximo dos concorrentes mais vendidos, que são os G500, G650 e G650ER. Mesmo que o alcance não esteja no pódio dos mais importantes para os usuários (Figura 29) entre outros requisitos, ele se mantém importante devido ao tipo de modelo da aeronave. Por isso será feita uma definição semelhante ao que foi do custo. A média dos modelos G500, G650 e G650ER é de 12223 km. A porcentagem de importância do alcance, de acordo com a Figura (31) é de 11,45%. Aplicando esse aumento, é definido o alcance da aeronave conceitual em 13600 km.

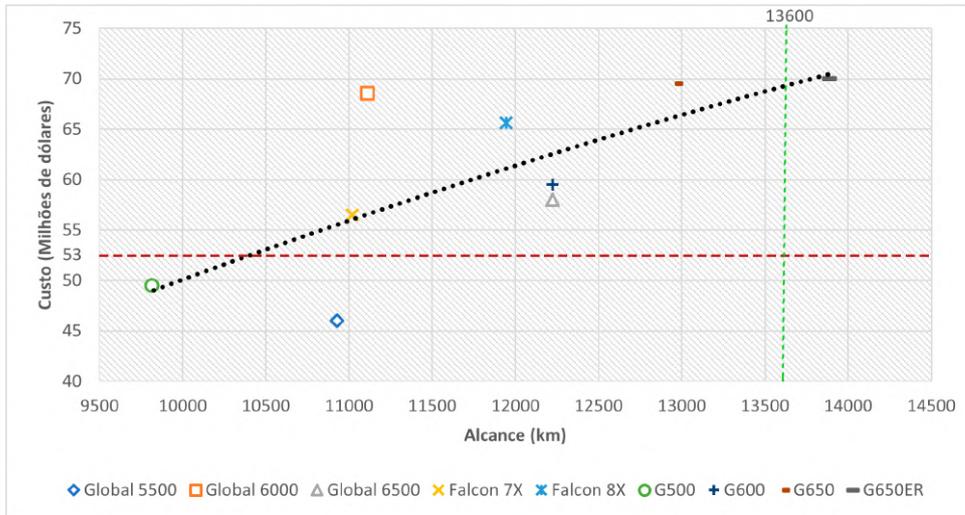


Figura 34 – Alcance em relação aos custos da aeronave. Fonte: Do Autor.

#### 4.2.5 Velocidade máxima de cruzeiro

A velocidade máxima de cruzeiro é um requisito que menos importa para o usuário, de acordo com a Figura (29). Por isso a velocidade máxima de cruzeiro será apenas a menor entre as aeronaves: mach 0.86, como mostra na linha tracejada verde na Figura (35).

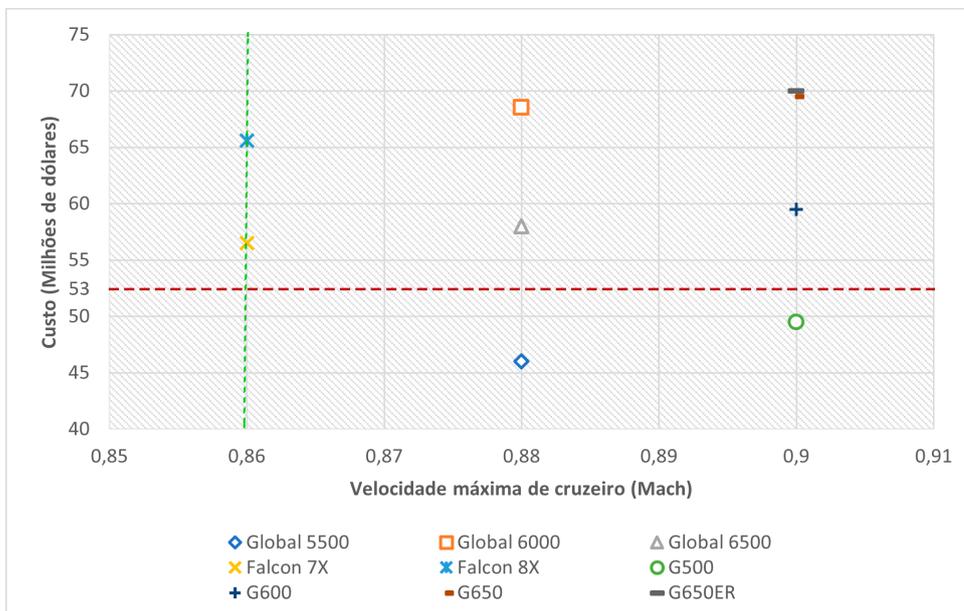


Figura 35 – Velocidade máxima de cruzeiro em relação aos custos das aeronaves. Fonte: Do Autor.

#### 4.2.6 Quantidade de passageiros

Para a definição do número de ocupantes, é interessante lembrar que os valores de passageiros e da tripulação em cada aeronave na Tabela (4) se diz respeito àqueles números

de alcance e velocidade. Por isso, será utilizado como base esses valores de ocupantes (Figura 36). De acordo com a Figura (31) o número de passageiros possui a segunda maior porcentagem de importância da lista, o que faz com que seja feito a mesma estratégia do alcance, custo e carga útil. Por fim, o resultado do número de ocupantes é 13, sendo 9 passageiros, localizado com a linha tracejada verde na Figura (36).

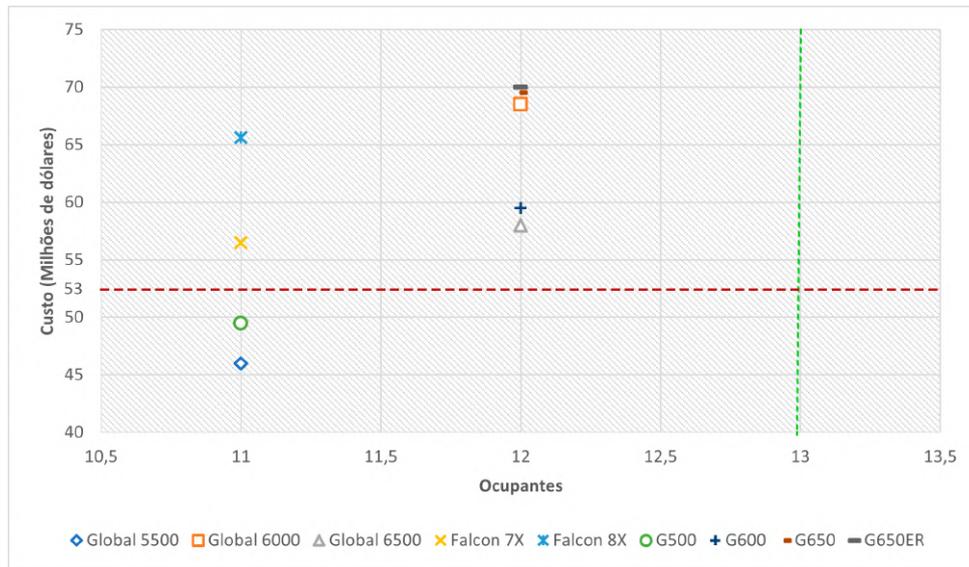


Figura 36 – Quantidade de ocupantes em relação ao custo das aeronaves. Fonte: Do Autor

#### 4.2.7 Altitude máxima de operação

Esse requisito é o que possui a menor porcentagem na Figura (31), por isso será mantido o mesmo valor que todas as aeronaves dessa categoria possuem: 15545 m

#### 4.2.8 Requisitos Finais

Com isso, os requisitos operacionais da aeronave conceitual será:

- Custo: No máximo US\$53 mi.
- Máximo peso de carga útil: 3000 kg
- Velocidade máxima de cruzeiro: *Mach* 0.86
- Alcance: 13600 km
- Ocupantes: 13, sendo 9 PAX
- Altitude máxima: 15545 m

## 5 Definição do *cross section* e LOPA básico da aeronave conceitual

### 5.1 Comparativo do interior das aeronaves do tipo *large*

#### 5.1.1 Bombardier

##### 5.1.1.1 Global 5500

Quadro 6: Comodidades no interior do Global 5500

SETOR	COMODIDADES
<b>Entrada e Galley</b>	Porta de entrada com isolamento acústico
	Cortinas de fechamento de cabine
	Pia e torneira
	Gaveta e armazenamento refrigerado
	Armário para itens pessoais dos ocupantes
<b>Conectividade e Entretenimento</b>	Conectividade de internet em alta velocidade
	Capacidade de streaming de música sem fio em toda cabine
	Controle sem fio do ambiente da cabine
<b>Suíte Clube</b>	4 assentos Nuage patenteados com recurso exclusivo de reclinção profunda
	Monitor anteparo 4K de 24 pol. (61 cm)
	Porta de entrada da cabine com isolamento acústico
	Mesas laterais ocultáveis
	Armazenamento no assento de acesso rápido
<b>Suíte de Conferências</b>	Mesa de pedestal única com altura regulável
	Aparador com armazenamento
	Armazenamento no assento de acesso rápido
	Espreguiçadeira Nuage disponível
<b>Suíte Privativa</b>	2 assentos Nuage patenteados com recurso exclusivo de reclinção profunda
	Monitor anteparo 4K de 24 pol. (61 cm)
	Divã com capacidade para 3 lugares
	Armazenamento no assento de acesso rápido
<b>Banheiro Privativo</b>	Lavabo com janela grande para luz natural
	Espelho grande
	Penteadeira
	Pia e torneira
	Guarda-roupa grande
	Acesso irrestrito e seguro ao compartimento de bagagens

Fonte: Do Autor, retirado de (BOMBARDIER, 2023a)

A aeronave é equipada com a inovadora coleção de assentos na indústria que redefina os padrões de conforto ao apresentar a versátil espreguiçadeira *Nuage*, juntamente com o assento *Nuage* patenteado, que se destaca por seu recurso exclusivo de reclinção profunda. A mais recente tecnologia assegura que o usuário permaneça conectado e desfrute de entretenimento, ao passo que os assentos inovadores recém-desenvolvidos oferecem o conforto que se espera de uma cabine projetada exclusivamente para atender as necessidades do passageiro. O jato tem a primeira cabine com capacidade para 4K, juntamente com a conectividade de voo mais veloz e um sistema de gerenciamento de cabine intuitivo, proporciona uma experiência de entretenimento de ultra definição ao alcance do ocupante. (BOMBARDIER, 2023a).

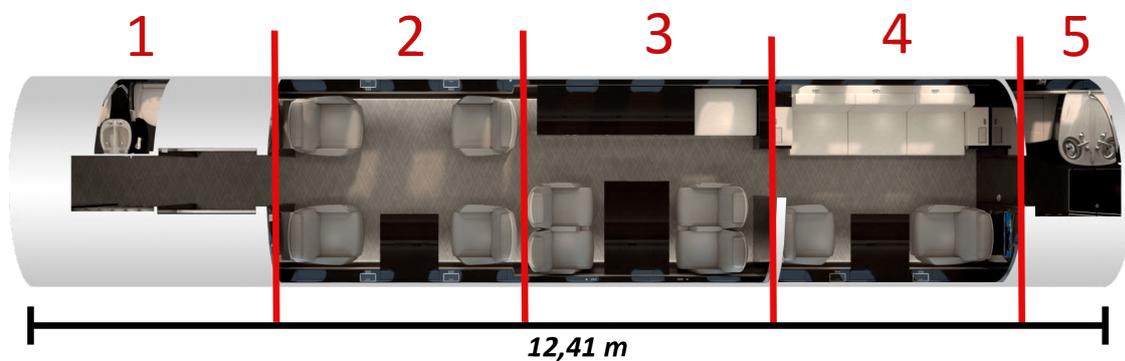


Figura 37 – Loft da aeronave Global 5500. Fonte: Adaptado de (BOMBARDIER, 2023a)

De acordo com a Figura (37), o modelo Global 5500 conta com 5 setores com as seguintes quantidades de lugares:

1. Entrada, lavatório e galley
2. Suíte clube com 4 assentos *nuage*
3. Suíte de conferências com 4 assentos *nuage* e espreguiçadeira *nuage*
4. Suíte privativa com 2 assentos *nuage* e 1 divã com 3 lugares
5. Lavatório com chuveiro

A aeronave conta com as dimensões internas de seção transversal dadas na Figura (38). Sua medida de comprimento é apresentado na Figura (37) e possui a menor dimensão entre as aeronaves da canadense *Bombardier*.

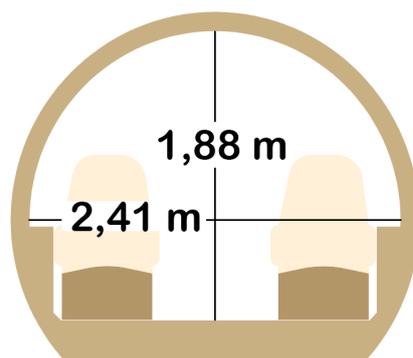


Figura 38 – Medidas da seção transversal do Global 5500. Fonte: Do autor retirado de (BOMBARDIER, 2023a).

#### 5.1.1.2 Global 6000

O jato inclui com uma notável amplitude, apoios de braço elevados e um encosto com formato impecável, os novos assentos oferecem aos passageiros uma experiência agradável e acolhedora, especialmente projetada para viagens de longa distância. Seja para trabalhar, descansar ou se entreter, o tempo simplesmente passará voando enquanto o usuário desfruta deste interior excepcional, que reflete a extraordinária suavidade da viagem na aeronave Global. Tudo se torna possível por meio do sistema de gerenciamento de cabine mais completo. Extremamente rápido, confiável, intuitivo e com um amplo compartimento de mídia, proporciona a capacidade de se conectar sem fio para assistir a filmes, espelhar transmissões ao vivo ou exibir documentos nos monitores de TV de alta definição na classe da aeronave. Com a conectividade de internet a bordo mais rápida disponível globalmente, viajar nunca mais será um obstáculo para realizar videoconferências, transmitir ao vivo ou até mesmo jogar online. Seja para trabalho ou lazer, o usuário estará sempre conectado (BOMBARDIER, 2020).

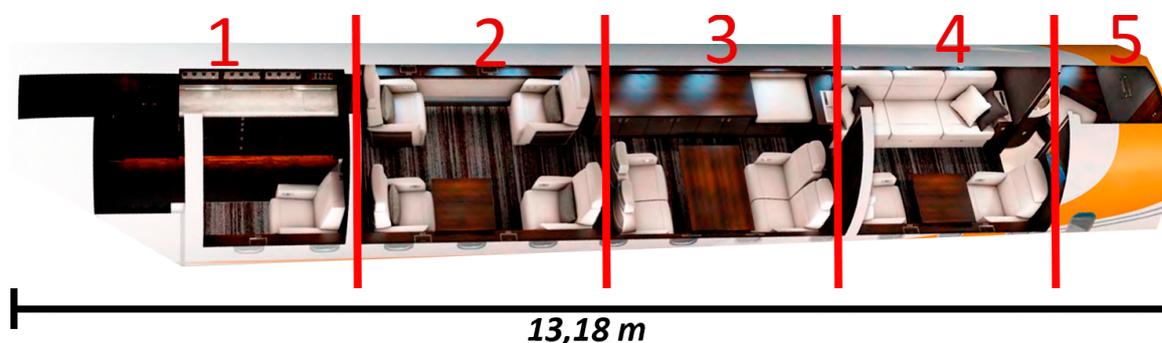


Figura 39 – Loft da aeronave Global 6000. Fonte: Adaptado de (BOMBARDIER, 2020).

Quadro 7: Comodidades no interior do Global 6000

SETOR	COMODIDADES
<b>Entrada</b>	Porta de entrada com isolamento acústico
	Cortinas de fechamento de cabine
	Pia e torneira
	Forno e Microondas
	Máquina de café/expresso
	Lavabo com espelho grande, penteadeira
	Armário para itens pessoais dos ocupantes
	Área privativa da tripulação com assento reclinável, tomadas elétricas e armazenamento
	Porta deslizante com isolamento acústico
<b>Conectividade e Entretenimento</b>	Conectividade de internet em alta velocidade
	Capacidade de streaming de música sem fio em toda cabine
	Controle sem fio do ambiente da cabine
	Frente de alta definição de 24 pol. (61 cm) e monitores de anteparo traseira
	Centro de mídia
	Experiência de entretenimento plug-and-play com portas HDMI e USB universais
<b>Móveis</b>	Assentos flexíveis para até 17 PAX com giro de 180°, rastreamento e reclinção
	Mesa de pedestal com regulagem de altura
	Divã de 3 lugares com capacidade de reclinção
	Compartimentos de armazenamento no assento de acesso rápido
	Aparador com equipamento de entretenimento e armazenamento
<b>Lavatório e Armazenagem</b>	Lavabo beneficiando de recursos naturais, iluminação com espelho grande
	Penteadeira
	Pia e torneira
	Chuveiro
	Guarda-roupas grande
	Acesso irrestrito e seguro a um compartimento de bagagem de 5,5 m <sup>3</sup> (195pés <sup>3</sup> )

Fonte: Do Autor, retirado do (BOMBARDIER, 2020)

A Figura (39) mostra os 5 setores da aeronave com as seguintes quantidades de lugares:

1. Entrada com 1 assento, galley e lavatório
2. Suíte clube com 4 assentos *nuage*

3. Suíte de conferências com 4 assentos *nuage*
4. Suíte privativa com 2 assentos *nuage* e 1 divã com 3 lugares
5. Lavatório com chuveiro

Este modelo Global 6000 possui as mesmas dimensões de seção transversal do Global 5500 (Figura 38). Ele possui a mesma dimensão de comprimento do Global 6500 (Figura 39).

#### 5.1.1.3 Global 6500

O Global 6500 proporciona aos passageiros uma fusão de espaço e requinte, enquanto os inovadores assentos extra largos, com apoios de braços elevados, oferecem conforto máximo. Três espaços distintos compõem um ambiente acolhedor, meticulosamente planejado para otimizar o movimento e proporcionar privacidade, resultando em uma experiência de voo incomparável. A aeronave vem equipada com uma área de descanso separada para a tripulação e um banheiro dianteiro, assegurando tanto a privacidade quanto o conforto da equipe ao longo de todo o voo (BOMBARDIER, 2023b).

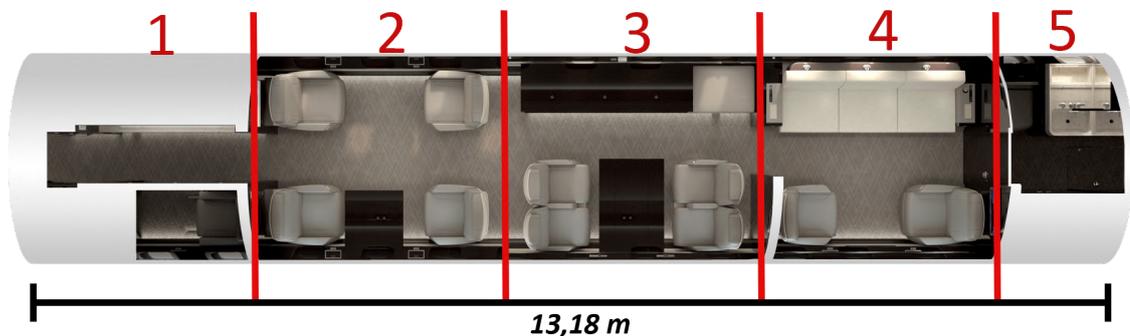


Figura 40 – Loft da aeronave Global 6500. Fonte: Adaptado de (BOMBARDIER, 2023b)

De acordo com a Figura (40), o modelo Global 6500 possui 5 setores com as seguintes quantidades de lugares:

1. Entrada, suíte da tripulação com 1 assento, lavatório e galley
2. Suíte clube com 4 assentos *nuage*
3. Suíte de conferências com 4 assentos *nuage* e 1 espreguiçadeira *nuage*
4. Suíte privativa com 2 assentos *nuage* e 1 divã com 3 assentos
5. Lavatório com chuveiro

Quadro 8: Comodidades no interior do Global 6500

SETOR	COMODIDADES
<b>Entrada e Suíte da Tripulação</b>	Porta de entrada com isolamento acústico
	Cortinas de fechamento de cabine
	Pia e torneira
	Forno de convecção/microondas
	Armazenamento refrigerado
	Máquina de café/expresso
	Lavabo com espelho grande, penteadeira
	Armário para itens pessoais dos ocupantes
<b>Conectividade e Entretenimento</b>	Área privativa da tripulação com assento reclinável, tomadas elétricas e armazenamento
	Conectividade de internet em alta velocidade
	Capacidade de streaming de música sem fio em toda cabine
	Controle sem fio do ambiente da cabine
<b>Suíte Clube</b>	Entretenimento na cabine com capacidade de 4K
	4 assentos Nuage patenteados com reclinção profunda
	Monitor anteparo 4K de 24 pol. (61 cm)
	Porta de entrada da cabine com isolamento acústico
	Mesas laterais ocultáveis
<b>Suíte de Conferências</b>	Armazenamento no assento de acesso rápido
	Mesa de pedestal com regulagem de altura
	Aparador com armazenamento
	Armazenamento no assento com acesso rápido
<b>Suíte Privativa</b>	Espreguiçadeira Nuage
	2 assentos Nuage patenteados com reclinção profunda
	Monitor anteparo 4K de 24 pol. (61 cm)
	Divã com capacidade de 3 lugares
<b>Banheiro Privativo</b>	Armazenamento no assento de acesso rápido
	Lavatório com grandes janelas e espelho grande
	Penteadeira, Pia e torneira
	Box de Chuveiro
	Guarda-roupas grande
	Acesso irrestrito ao compartimento de bagagem

Fonte: Do Autor, retirado de (BOMBARDIER, 2023b).

Este modelo Global 6500 possui as mesmas dimensões de seção transversal do Global 5500 (Figura 38). Mesmo sendo um modelo mais atualizado, ele apresenta o mesmo comprimento do anterior, Global 6000 (Figura 40).

## 5.1.2 Dassault

## 5.1.2.1 Falcon 7X

Quadro 9: Comodidades no interior do Falcon 7X

SETOR	COMODIDADES
<b>Galley</b>	Sistema central de água
	Cafeteira expresso
	2 Garrafas térmicas
	Microondas
	Forno de alta temperatura
	Armazenamento diverso
	Torneira e pia
	Refrigerador de vinho elétrico
<b>Cabine Dianteira</b>	4 assentos
<b>Cabine Média</b>	4 cadeiras em conferencia
	Mesa
	Armazenamento diverso
<b>Cabine traseira</b>	2 divãs elétricos de 3 lugares cada
<b>Lavatórios</b>	Pia e torneira
	Espelho
<b>Entretenimento</b>	1 monitor HD 22" e 1 monitor HD 24"
	Suporte de braço para iPad, portas HDMI e USB
	Monitor de controle com tela sensível ao toque de 10,6"
	Controles remotos para iPad

Fonte: Do Autor, retirado de (DASSAULT, 2022a)

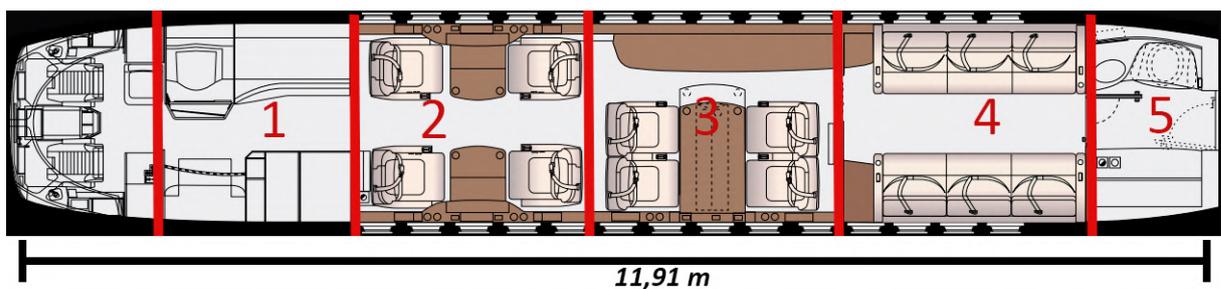


Figura 41 – Loft da aeronave Falcon 7X. Fonte: Adaptado de (DASSAULT, 2022a)

Referente a Figura (41), o jato possui 5 setores na qual possui a seguinte quantidade de assentos:

1. Entrada com 1 assento para tripulação, galley e lavatório
2. Suíte da frente com 4 assentos
3. Suíte de conferência com 4 assentos

4. Suíte traseira com 2 assentos e 1 divã com 3 assentos
5. Lavatório

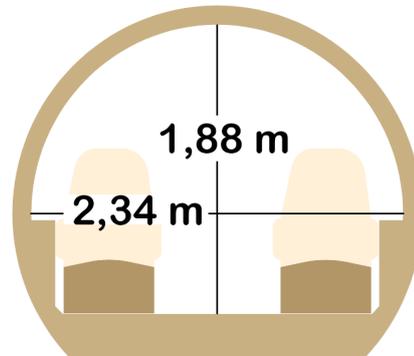


Figura 42 – Medidas da seção transversal do Falcon 7X. Fonte: Do autor retirado de (DASSAULT, 2022a).

O modelo possui altura e largura descritas na Figura (42). O comprimento de cabine apresentado na Figura (41).

#### 5.1.2.2 Falcon 8X

Quadro 10: Comodidades no interior do Falcon 8X

SETOR	COMODIDADES
<b>Galley</b>	Armazenamento aberto
	Microondas
	Forno de alta temperatura
	Cafeteira expressa
	Armazenamento diverso e para copos
	Torneira e pia
	Refrigerador de vinho elétrico
<b>Cabine Dianteira</b>	2 assentos com mesas
<b>Cabine Média</b>	4 cadeiras em conferencia
	Mesa
	Armazenamento diverso
<b>Cabine traseira</b>	2 divãs elétricos de 3 lugares cada
<b>Lavatórios</b>	Pia e torneira
	Espelho
<b>Entretenimento</b>	1 monitor HD LED 22" e 1 monitor HD 24"
	Conectores USB 3.0
	Painel de áudio
	Suportes para celular

Fonte: Do Autor, retirado de (DASSAULT, 2022b)

O *Falcon 8X* proporciona uma combinação distintiva de eficiência, flexibilidade, alcance considerável e um ambiente silencioso e espaçoso. Todos esses elementos são har-

moniosamente equilibrados para criar uma experiência de voo que vai além das expectativas. Integrando de maneira fluida a vasta experiência da *Dassault* em controles de voo digitais originados de caças, eficiência e alcance excepcionais, tecnologia de redução de ruído e espaços internos versáteis (DASSAULT, 2022b).

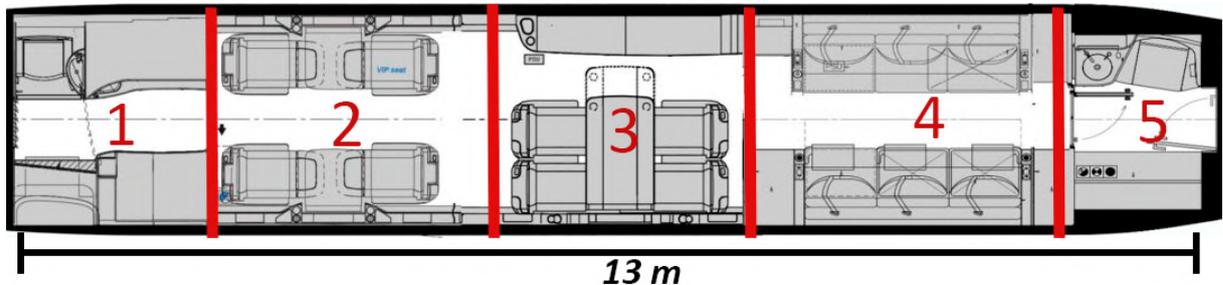


Figura 43 – Loft da aeronave Falcon 8X. Fonte: Adaptado de (DASSAULT, 2022b).

De acordo com a Figura (43), a aeronave *Falcon 8X* conta com 5 setores com as seguintes quantidades de lugares:

1. Entrada com 1 assento para tripulação, galley e lavatório
2. Suíte da frente com 4 assentos
3. Suíte de conferência com 4 assentos
4. suíte traseira com 2 divãs de 3 lugares cada
5. Lavatório

Este modelo *Falcon 8X* possui as mesmas dimensões de seção transversal do *Falcon 7X* (Figura 42) e comprimento indicado na Figura (43) na qual é maior do que a outra representante da norte-americana *Gulfstream*, *Falcon 7X*. .

### 5.1.3 Gulfstream

#### 5.1.3.1 G500

A espaçosa cabine alta do G500 proporciona considerável versatilidade, permitindo escolher entre uma cozinha na parte dianteira ou traseira, e uma área traseira iluminada por quatro janelas ovais panorâmicas. Pode-se caminhar por um corredor amplo ou relaxar em assentos totalmente renovados. As mesas são projetadas para acomodar até três pessoas em momentos de refeições ou reuniões (GULFSTREAM, 2020a).

Quadro 11: Comodidades no interior do G500

SETOR	COMODIDADES
Galley	Forno a vapor/convecção com ventilação externa
	Microondas com ventilação externa
	Cafeteira
	Chaleira de água quente
	Geladeira e gaveta de gelo
Lavatório	Armários de armazenamento à esquerda e direita
	Vaso sanitário
Cabine da Frente	4 assentos
Cabine do Meio	4 assentos
	Persianas elétricas na cabine toda
Cabine de Trás	Divã com capacidade de 3 lugares
	Dois assentos individuais
Entretenimento	Monitor HD LCD widescreen de 12,4"
	Controle de gerenciamento de cabine com tela sensível ao toque em cada assento
	10 telas sensíveis ao toque portáteis com cabos de carregamento
	Sistema de comunicação por satélite
	Internet sem fio local (LAN)
	Sistema de informações de voo CabinView

Fonte: Do Autor, retirado de (GULFSTREAM, 2020a)

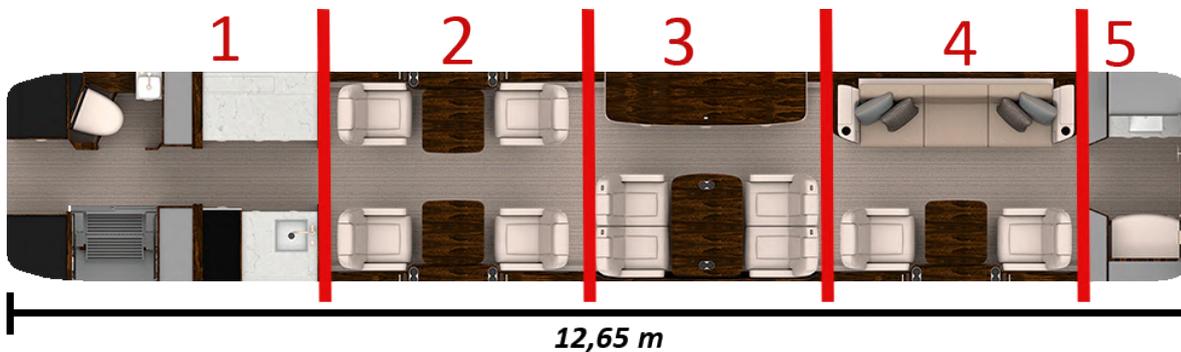


Figura 44 – Loft da aeronave G500. Fonte: Adaptado de (GULFSTREAM, 2020a)

Baseado na Figura (44), o modelo possui 5 setores entre eles:

1. Entrada, galley e lavatório
2. Suíte da frente com 4 assentos
3. Suíte de conferências com 4 assentos
4. Suíte traseira com 2 assentos e 1 divã com 3 lugares
5. Lavatório

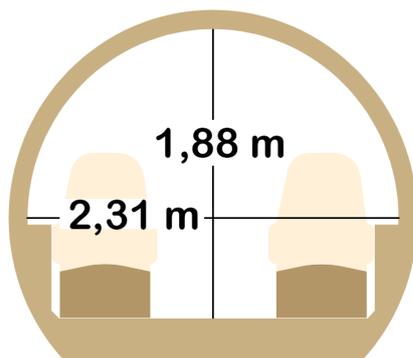


Figura 45 – Medidas da seção transversal do G500. Fonte: Do autor retirado de (GULFSTREAM, 2020a).

As dimensões da seção transversal da aeronave se encontram na Figura (45). Seu comprimento está apresentado na Figura (44) e possui o menor valor dentre os de mesmo fabricante apresentados neste trabalho.

#### 5.1.3.2 G600

Entre outras facilidades, o assento do G600, que recebeu prêmios, combina uma fusão de estilo, funcionalidade e, acima de tudo, conforto. Considerando as sugestões dos clientes, a empresa refinou as proporções para assegurar um ajuste ideal e removeu pontos de pressão por meio de uma usinagem precisa e computadorizada, aplicando inclinações estratégicas e modelando os reforços de espuma. Aprimore a estética geral com detalhes sofisticados e materiais de alta qualidade, como couros e tecidos refinados. (GULFSTREAM, 2020b).

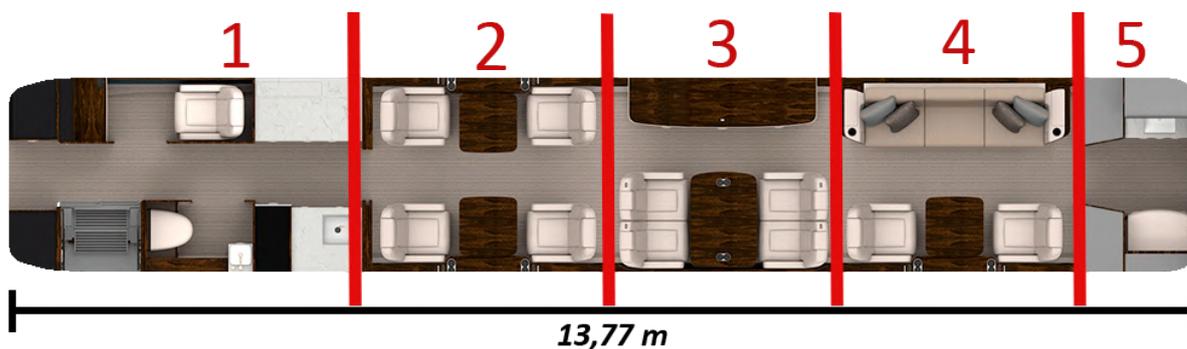


Figura 46 – Loft da aeronave G600. Fonte: Adaptado de (GULFSTREAM, 2020b)

O modelo G600 da *Gulfstream* apresenta 5 setores divididas em:

1. Entrada com 1 assento para tripulação, galley e lavatório
2. Suíte da frente com 4 assentos
3. Suíte de conferência com 4 assentos
4. Suíte traseiro com 2 assentos e 1 divã com 3 assentos
5. Lavatório

Quadro 12: Comodidades no interior do G600

SETOR	COMODIDADES
<b>Galley</b>	Forno de alta temperatura
	Microondas
	Cafeteira expresso
	Chaleira de água quente
	Geladeira e gaveta de gelo
	Armazenamento diverso
	Torneira e pia
	Refrigerador de vinho elétrico
<b>Cabine Dianteira</b>	4 assentos
	Porta elétrica de entrada principal
<b>Cabine Média</b>	4 cadeiras em conferencia
	Mesa com suporte de copo
	Armazenamento diverso
<b>Cabine traseira</b>	1 divã motorizado de 3 lugares
<b>Lavatórios</b>	Pia e torneira
	Espelho grande
<b>Entretenimento</b>	Dois monitores 24" HD LCD no anteparo dianteiro e traseiro
	Sistema de visualização de cabine Gulfstream
	Controle de gerenciamento de cabine com tela sensível ao toque em cada assento
	10 telas sensíveis ao toque portáteis com cabos de carregamento
	Sistema de comunicação por satélite
	Internet sem fio local (LAN)
	Internet banda larga
	Sistema de informações de voo CabinView

Fonte: Do Autor, retirado de ([GULFSTREAM, 2020b](#))

Este modelo G600 possui as mesmas dimensões de seção transversal do G500 (Figura 45). É apresentado seu comprimento na Figura (46).

### 5.1.3.3 G650 e G650ER

Quadro 13: Comodidades no interior do G650 e G650ER

<b>SETOR</b>	<b>COMODIDADES</b>
<b>Entrada</b>	Fechamento acústico de entrada
	Cortina de privacidade
	Lavabo com sanitário
	Armário de armazenamento
	Pia e torneira com água quente/fria
	Espelho, penteadeira e iluminação indireta
	Assento reclinável para tripulação
	Mesa console para tripulação
	Monitor HD LCD 17 pol.
	Anteparo dianteiro da cabine com porta operada eletricamente
<b>Galley</b>	Painel de controle touch-screen
	2 máquinas de café com controle de filtro
	Forno de micro-ondas e Forno de convecção
	Duas grandes gavetas de gelo
	Pia grande com torneira de água quente/fria
	Frigorífico
<b>Cabine de Passageiros</b>	Armazenamento com iluminação
	Persianas elétricas
	Monitor HD LCD de 26 pol. na cabine dianteira
	LED para leitura ajustável
	Assentos individuais reclináveis com suporte de pernas
	Divã reclináveis de 3 lugares
	Mesas consoles operadas eletricamente
	Aparador com monitor, impressora multifuncional
Refrigerador de vinho e armazenamento diverso	
<b>Lavatório</b>	Armazenamento com prateleiras ajustáveis
	Sanitário com sistema de ventilação
	Pia e torneira com água quente/fria
	Espelho, penteadeira e iluminação indireta
<b>Diversos</b>	Aparador com monitor LCD HD de 26 pol.
	Rede local sem fio
	Impressora multifuncional
	Sistema de informações de voo CabinView com mapas mundiais
	Sistema de áudio da cabine com fones de ouvido com cancelamento de áudio
	Entradas HDMI auxiliares e entradas USB
	Controles eletrônicos da cabine em todo o interior e ar condicionado de 2 zonas

Fonte: Do Autor, retirado de (GULFSTREAM, 2022).

O amplo espaço interior dos modelos G650 e G650ER representa um retiro sofisticado nas alturas, onde o conforto se une ao design inovador. O avançado sistema de purificação do ar da *Gulfstream* garante a renovação de ar 100% fresco a cada dois ou três minutos, enquanto a tecnologia de ionização do ar neutraliza alérgenos e vírus. Criados com o bem-estar do usuário e eficiência em mente, os assentos artesanais proporcionam acomodação relaxante para que o passageiro desfrute da jornada. Com a capacidade de converter divãs e assentos individuais em camas, a *Gulfstream* garante o maior conforto e flexibilidade (GULFSTREAM, 2022).

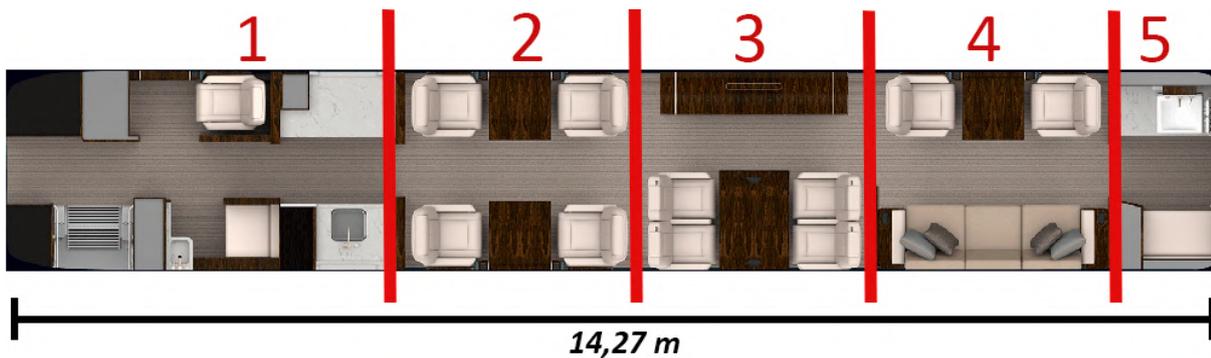


Figura 47 – Loft da aeronave G650 e G650ER. Fonte: Adaptado de (GULFSTREAM, 2022)

Os modelos G650 e G650ER apresentam 5 setores com os seguintes números de assentos:

1. Entrada com 1 assento para tripulação, lavatório e galley
2. Suíte na frente com 4 assentos
3. Suíte de conferência com 4 assentos
4. Suíte traseira com 2 assentos e 1 divã com 3 lugares
5. Lavatório

As duas versões, G650 e G650ER, possuem as mesmas dimensões de cabine (Figura 48) tanto da seção transversal, como do comprimento (Figura 47). Esses 2 modelos possuem as maiores dimensões de cabine entre todas as aeronaves aqui apresentadas.

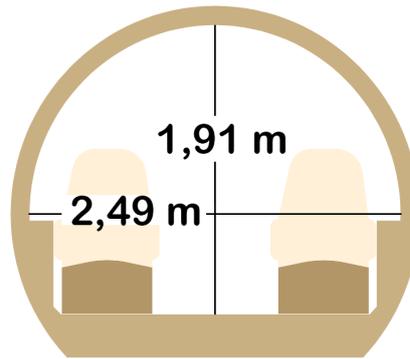


Figura 48 – Medidas da seção transversal do G650 e G650ER. Fonte: Do autor retirado de (GULFSTREAM, 2022).

#### 5.1.4 Todas as fabricantes

Para ser possível definir um *loft* básico da aeronave conceitual, é interessante reunir as informações de interior de cada aeronave já apresentadas. O Quadro (14) mostra as comodidades e quais modelos possuem, sendo estas assinaladas com a letra "x".

A partir do Quadro (14) é possível criar uma comparação de frequência na qual as comodidades aparecem em cada modelo. Essa frequência (Tabela 6) pode ser um bom indicativo de quais modelos oferecem mais comodidades, de forma bem geral.

Tabela 6 – Frequências de comodidades em cada modelo

Modelos	Global 5500	Global 6000	Global 6500	Falcon 7X	Falcon 8X	G500	G600	G650	G650ER
Frequências	69%	75%	75%	50%	55%	66%	69%	88%	88%

Fonte: Do Autor

A partir da Tabela (6), é possível inferir que o Global 6000 e Global 6500 da *Bombardier* e G650/G650ER da *Gulfstream* possuem uma cabine mais "recheada". Esses modelos se tornarão peça chave para a escolha do interior da aeronave conceitual.

Tabela 7 – Comparação de tamanho das cabines

Modelos	Global 5500	Global 6000	Global 6500	Falcon 7X	Falcon 8X	G500	G600	G650	G650ER
Altura (m)	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,88	1,91	1,91
Largura (m)	2,41	2,41	2,41	2,34	2,34	2,31	2,31	2,49	2,49
Comprimento (m)	12,42	13,18	13,18	11,91	13	12,65	13,77	14,27	14,27
Bagageiro (m <sup>3</sup> )	5,52	5,52	5,52	4	4	4,96	4,96	5,52	5,52

Fonte: Do Autor, retirado dos brochures.

Seguindo agora para as dimensões internas das aeronaves, a Tabela (7) traz um comparativo de todos os jatos. De forma geral, todas as aeronaves possuem uma seção transversal com praticamente o mesmo tamanho. O mesmo acontece para o bagageiro, o que muda de um para o outro é o comprimento da cabine.

Quadro 14: Comparativo com todos os modelos

SETOR	COMODIDADES	5500	6000	6500	7X	8X	500	600	650/650ER
Entrada	Porta de entrada com isolamento acústico	x	x	x					x
	Cortinas de fechamento de cabine	x	x	x	x	x	x	x	x
	Área privativa para tripulação com assento reclinável, tomadas elétricas e armazenamento		x	x	x			x	x
	Mesa console para tripulação								x
	Monitor HD					x	x		x
Galley	Pia e torneira	x	x	x	x	x	x	x	x
	Gaveta de gelo	x	x	x			x	x	x
	Forno	x	x	x	x	x	x	x	x
	Microondas	x	x	x	x	x	x	x	x
	Máquina de café	x	x	x	x	x	x	x	x
	Armazenamento refrigerado	x		x			x	x	x
	Refrigerador de vinho elétrico				x	x		x	x
	Armazenamento com iluminação	x	x	x	x	x	x	x	x
	Painel de controle sensível ao toque					x	x	x	x
Cabine	Persianas elétricas						x	x	x
	Mesas laterais ocultáveis	x		x	x	x	x	x	x
	Armazenamento no assento de acesso rápido	x	x	x		x	x	x	x
	Mesa com regulagem de altura	x	x	x					x
	Espreguiçadeira	x	x	x					
	Aparador com armazenamento	x	x	x	x	x	x	x	x
	Assentos com reclinção	x	x	x	x	x	x	x	x
Impressora multifuncional								x	
Lavatórios	Pia e torneira	x	x	x	x	x	x	x	x
	Espelho	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sanitário com sistema de vácuo	x	x	x	x	x	x	x	x
	Armazenamento	x	x	x	x	x	x	x	x
	Guarda-roupas	x	x	x					
	Penteadeira	x	x	x					x
Entretenimento	Chuveiro		x	x					
	Conectividade de internet em alta velocidade	x	x	x			x	x	x
	Capacidade de streaming de música sem fio em toda cabine	x	x	x		x			x
	Controle sem fio do ambiente da cabine	x	x	x	x		x	x	x
	Entretenimento na cabine com capacidade 4K ou HD	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sistema de informação de voo		x				x	x	x
	Telas sensíveis ao toque em cada assento						x	x	
Entradas HDMI e USB		x			x	x		x	

Fonte: Do Autor.

## 5.2 Escolha do interior

### 5.2.1 Desdobramento da função qualidade

Como apresentado da Seção 4.2.1, para definir escopos da aeronave conceitual é interessante, além dos dados dos concorrentes, levar em consideração as escolhas do consumidor. A (TRAVELER, 2021) realizou uma pesquisa com cerca de 1200 usuários da aviação executiva sobre o que fazem frequentemente durante os voos (Figura 49).

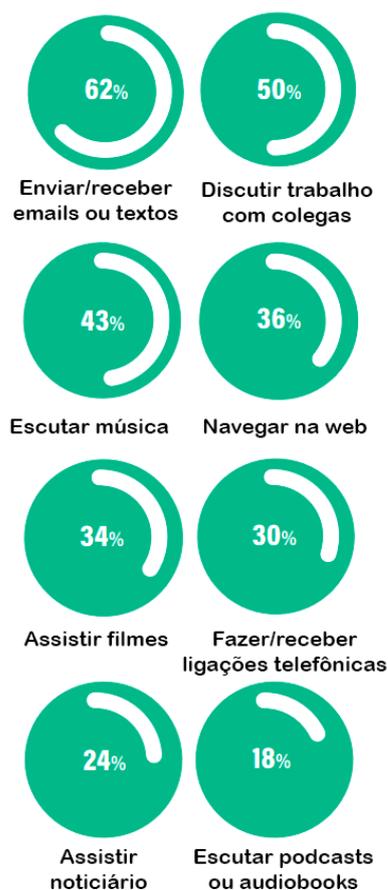


Figura 49 – Pesquisa sobre o que os usuários geralmente fazem no voo. Fonte: Modificado de (TRAVELER, 2021)

É possível inferir na Figura (49) que de maneira geral, os passageiros utilizam os dispositivos móveis de forma massiva. Isso significa que as aeronaves precisam de um aporte maior no sistema de entretenimento e tecnologia. Discussões de negócios também são bastante utilizados, o que denota que os jatos precisam de áreas propícias para a realização de reuniões. Para que as ações na Figura (49) tenham pesos nas escolhas das definições do interior da aeronave conceitual, será necessário a criação do desdobramento da função qualidade. Dentro da matriz, cada ação listada terá um peso diferente de acordo com a sua porcentagem na Figura (49). Para que a análise fique mais completa, será incorporado outras ações, porém, com pesos menores, apenas para poder aumentar um pouco o escopo da análise.

		Requisitos Funcionais							
		Comprimento da cabine	Altura e largura da cabine	Internet na cabine / Conectividade	Sistema de entretenimento	Assentos aconchegantes e funcionais	Área de bagagem ampla	Cozinha ampla com mais recursos	Lavatórios com mais recursos
Voz do Cliente (VOC)	Importância	Medições							
		A	B	C	D	E	F	G	H
Enviar e receber <i>emails</i> ou textos	9	1	1	9	1	1	1	1	1
Discutir sobre trabalho com amigos	8	3	3	1	1	9	1	1	1
Escutar músicas	7	1	1	9	3	1	1	1	1
Navegar na <i>web</i>	6	1	1	9	9	3	1	1	1
Assistir filmes	5	1	1	9	9	9	1	1	1
Fazer/receber ligações telefônicas	4	1	1	9	1	1	1	1	1
Ver notícias	3	1	1	9	9	9	1	1	1
Escutar <i>podcasts</i> ou <i>audiobooks</i>	2	1	1	9	3	9	1	1	1
Comer	1	1	1	1	1	3	1	9	1
Dormir	1	9	9	1	1	9	1	1	1
Ver a vista	1	1	1	1	1	3	1	1	1
<b>Importância Ponderada</b>		71	71	335	177	215	47	55	47
<b>% Importância</b>		6,97	6,97	32,91	17,39	21,12	4,62	5,40	4,62

1 - Relação fraca  
3 - Relação média  
9 - Relação forte

Figura 50 – Desdobramento da Função Qualidade da parte interna da aeronave. Fonte: Do Autor.

Para a criação da matriz, foi colocado um valor de importância em cada tópico da VOC (Figura 50). Esse valor varia de 9 a 1, sendo que os 3 últimos foram incorporados, tendo peso mínimo.

A partir da matriz da função qualidade da Figura (50) foi possível criar o gráfico da Figura (51) no qual mostra de forma mais clara quais são os requisitos do interior da cabine que são mais importantes para o usuário. É possível perceber que a internet na cabine/conectividade, sistema de entretenimento e assentos aconchegantes e funcionais possuem uma maior relevância, em sequência.

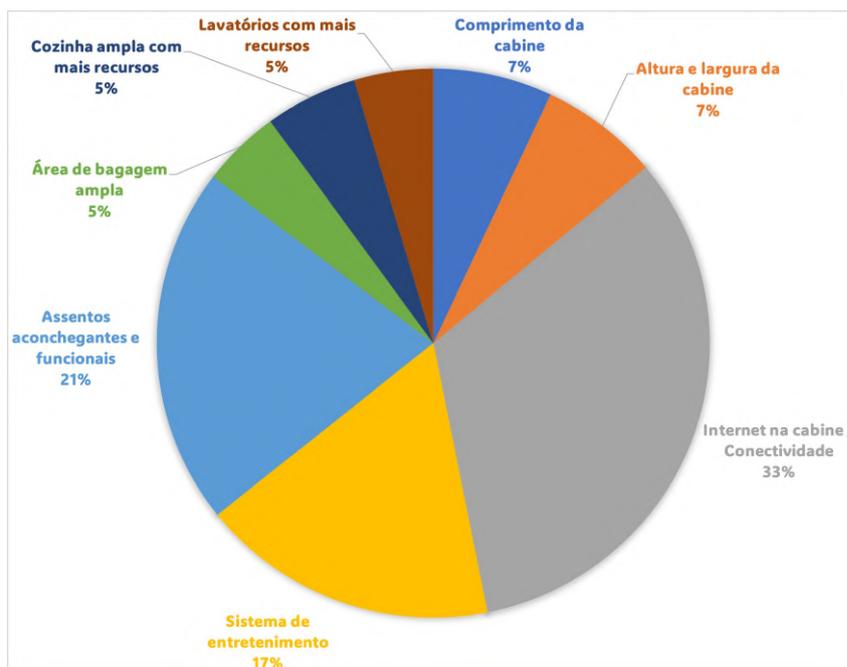


Figura 51 – Gráfico da importância de requisitos do interior da cabine de acordo com o usuário. Fonte: Do Autor.

### 5.2.2 LOPA básico da aeronave conceitual

Primeiramente, para definir o LOPA básico da aeronave conceitual, será necessário encontrar as suas dimensões. Para que ele seja competitivo, é interessante que ele ofereça o máximo de comodidades como o Global 6000, Global 6500, G650 e G650ER (Figura 6). Para isso será feito uma média das dimensões dessas aeronaves, já que a quantidade de comodidades está relacionada com o tamanho do jato, por conta que precisa caber todo o aporte. Tendo como referência a Tabela (7), as médias e dimensões da seção transversal do interior da aeronave conceitual está inserida na Figura (52) e do comprimento na Figura (53).

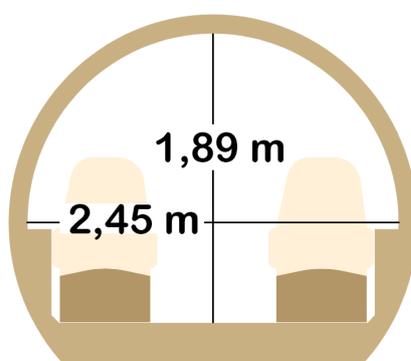


Figura 52 – Seção transversal do interior da aeronave conceitual. Fonte: Do Autor.

Sobre a composição da cabine, foi percebido que em todos os modelos comparativos

apresentavam 5 seções bem definidas. O mesmo será feito para a aeronave conceitual, como visto na Figura (53).

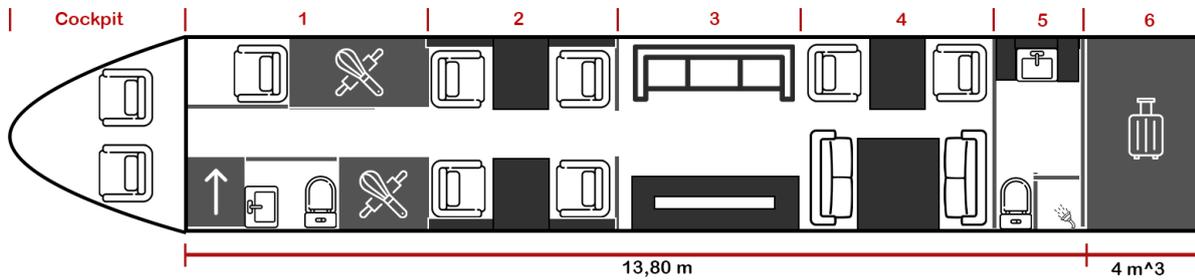


Figura 53 – Loft da aeronave conceitual. Fonte: Do Autor.

Na primeira seção, estará localizada a entrada, o lavatório mais simples com pia, torneira e vaso a vácuo. Também estará presente a cozinha, de um tamanho não tão grande, já que de acordo com o gráfico da Figura (51), uma cozinha mais ampla não tem tanta importância. Essa cozinha estará equipada com micro-ondas, forno, gaveta de gelo, armazenamento gelado e diversos, pia, torneira, máquina de café. Também terá uma pequena tela *touch* para gerenciamento da cabine e do sistema de som.

Seguindo para a segunda seção, terá 4 assentos confortáveis reclináveis com suporte de copo. A seção também contará com 2 mesas laterais na qual poderão ser recolhidas. 4 telas 4K estarão 1 em cada parede, de frente para cada assento, podendo ser plugado um fone dedicado de som para aquela tela direto do assento. Caso o usuário não queira utilizar desse sistema, ele pode retirar o suporte de *tablet/celular* na lateral, todos com *plugs* USB e HDMI. Todo esse aparato é vantajoso já que o segundo ponto mais forte do gráfico da Figura (51) é o sistema de entretenimento.

Prosseguindo para a terceira seção, e seguindo o mesmo critério de entretenimento, esse setor conta com um aparador que serve para armazenamento de fácil acesso e com uma adega de vinhos, mas também, a partir dele, uma TV grande 4K. Esse sistema está na frente de um divã com 3 lugares. Todas as telas de todas as seções funcionam independentes entre si e utilizam os serviços de *streaming* pagos a parte.

Entrando na seção 4, é possível observar a presença de 2 assentos separados e 2 assentos duplos. Ambos estão munidos de uma mesa retrátil lateral que pode se estender até o outro lado da cabine para uma maior expansão da mesa de jantar. Os dois lados contam com entradas USB para carregamento de celular.

Na quinta seção se encontra o lavatório mais completo com armazenamento diverso, pia, torneira e chuveiro. Também possui uma entrada com ligação direta ao bagageiro. Já que o tamanho do bagageiro não é o foco do usuário, ele vai ter a menor dimensão entre os concorrentes da categoria:  $4m^3$ .

---

A seguinte lista de equipamentos de emergência estão incluídos na cabine:

- Todos os assentos são boias
- 3 extintores de incêndio estão localizados na *galley* e nos 2 lavatórios
- Máscaras de oxigênio em pontos estratégicos da cabine
- Manuais de emergência estão localizados nos compartimentos laterais das poltronas

## 6 Dimensionamento

### 6.1 Estimativa preliminar de peso

O processo de calcular o peso de uma aeronave está intimamente ligado às suas dimensões, o que exige uma análise cuidadosa de suas proporções para assegurar que ela possa transportar a carga necessária durante suas operações. O dimensionamento do peso é uma etapa fundamental no desenvolvimento do projeto conceitual de aeronaves. O design final da aeronave é amplamente determinado pelos valores obtidos nessa fase de dimensionamento (RAYMER, 2018).

Porém, esses dimensionamentos precisam ser mais precisos e calculados com mais calma. Anteriormente, foi estipulado um valor de peso de carga útil baseado nas aeronaves análogas, entretanto, o peso vai além disso. Será necessário calcular o peso bruto de decolagem ( $W_0$ ) da aeronave conceitual. Geralmente, este peso é assumido no projeto.

Para o seu cálculo, pode ser feito o somatório do peso da carga paga  $W_p$ , carga da tripulação  $W_c$ , carga de combustível  $W_f$ , e peso vazio  $W_e$  (RAYMER, 2018).

$$W_0 = W_c + W_p + W_f + W_e \quad (6.1)$$

Esses pesos são os seguintes:

- $W_e$  (Peso vazio): O peso real da aeronave quando vazia será obtido a partir da estimativa detalhada e da soma de todos os pesos dos componentes que a compõem. Cada parte individual da aeronave terá seu peso estimado, e a combinação desses valores fornecerá o peso total da aeronave em estado vazio.
- $W_f$  (Carga de Combustível): É de extrema importância calcular com precisão a quantidade de combustível disponível para que a aeronave consiga completar toda a missão planejada. Métodos estatísticos básicos não serão suficientes para essa tarefa, é essencial realizar uma simulação detalhada do voo da aeronave, levando em consideração todas as etapas e condições ao longo da missão. Somente dessa forma será possível garantir que o combustível será adequado para todo o percurso previsto.
- $W_p$  (Peso de carga paga): Inclui tanto a carga que será transportada quanto os passageiros que irão a bordo da aeronave.
- $W_c$  (Peso da tripulação): O peso somado de todas as pessoas que estarão a bordo desempenhando funções de trabalho na aeronave.

Para este trabalho, o valor de carga útil definida anteriormente (3000 kg) será considerado como somatório do  $W_p$  e  $W_c$ . Logo, com esse parâmetro já definido, será calculado os outros pesos.

Para simplificar o cálculo, pode-se expressar tanto o peso do combustível quanto o peso vazio como frações proporcionais do peso total de decolagem, representadas por  $(W_f/W_0)$  e  $(W_e/W_0)$ , respectivamente. Dessa forma, a Equação 6.1 será modificada para se tornar ((RAYMER, 2018)):

$$W_0 = W_c + W_p + \left(\frac{W_f}{W_0}\right)W_0 + \left(\frac{W_e}{W_0}\right)W_0$$

$$W_0 = \frac{W_c + W_p}{1 - \left(\frac{W_f}{W_0}\right) - \left(\frac{W_e}{W_0}\right)} \quad (6.2)$$

## 6.2 Peso de combustível

É igualmente necessário estimar com precisão a quantidade de combustível disponível para a realização da missão. Métodos estatísticos simples não serão eficazes nesse caso, é necessário simular o voo da aeronave ao longo de toda a missão planejada. Importante destacar que apenas uma porção do combustível total da aeronave está destinada a ser utilizada especificamente para o cumprimento da missão, conhecida como "combustível de missão". O combustível remanescente engloba o chamado "combustível de reserva", que é estipulado pelas normas de projeto, sejam civis ou militares, e é utilizado principalmente para compensar possíveis perdas no desempenho do motor. Além disso, há o "combustível aprisionado", que corresponde à quantidade de combustível que permanece nos tanques e não pode ser extraída para uso durante o voo (RAYMER, 2018).

A quantidade de combustível necessária para a conclusão da missão pode variar com base em vários fatores, incluindo as exigências específicas da missão, as características aerodinâmicas da aeronave e a eficiência do consumo de combustível do motor. Ao longo da missão, o peso da aeronave influencia diretamente o arrasto, o que, por sua vez, determina o consumo de combustível, uma vez que o consumo é afetado pelo peso da aeronave (RAYMER, 2018).

Para uma estimativa inicial, pode-se considerar que o consumo de combustível é proporcional ao peso da aeronave. Dessa forma, a fração de combustível representada por  $(W_f/W_0)$  tende a permanecer quase constante, independentemente do peso total da aeronave. Para realizar essa estimativa da fração de combustível, deve-se levar em conta a natureza específica da missão, fazendo uso de previsões relacionadas ao consumo de combustível e às características aerodinâmicas da aeronave (RAYMER, 2018).

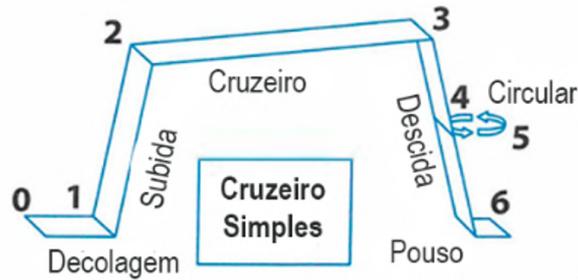


Figura 54 – Missão de cruzeiro simples. Fonte: (RAYMER, 2018)

É aconselhável carregar uma quantidade extra de combustível como medida de segurança, caso o aeroporto de destino esteja fechado. Por isso, é comum adicionar um tempo de espera adicional de cerca de 20 a 30 minutos [a uma altitude de 10.000 pés (3048 m)]. Como alternativa, pode-se incluir uma reserva extra de alcance, que corresponde à distância até o aeroporto alternativo mais próximo ou a um número específico de minutos de voo em velocidade de cruzeiro. A Administração Federal de Aviação estabelece que, para voos diurnos sob regras de voo visual (VFR), devem ser reservados 30 minutos adicionais de combustível em velocidade de cruzeiro, enquanto para voos noturnos ou em condições de voo por instrumentos (IFR), são exigidos 45 minutos adicionais (RAYMER, 2018).

Para fins de análise, os diferentes estágios da missão, também conhecidos como "pernas", são numerados, começando do zero para indicar o início da missão, como vista na figura 54. A primeira perna, identificada como o estágio inicial, geralmente envolve o aquecimento do motor e a decolagem, sendo usada para estimativas preliminares de dimensionamento. As pernas seguintes são numeradas sequencialmente. Por exemplo, em um voo de cruzeiro simples, as etapas podem ser designadas da seguinte maneira: 1) aquecimento do motor e decolagem, 2) subida, 3) cruzeiro, 4) espera e 5) pouso. De modo semelhante, o peso da aeronave em cada fase da missão também pode ser identificado por números. Assim,  $W_0$  representa o peso inicial (peso bruto de decolagem). Em uma missão de cruzeiro simples,  $W_1$  indicaria o peso ao final do primeiro estágio, que inclui o aquecimento do motor e a decolagem.  $W_2$  corresponderia ao peso da aeronave ao término da fase de subida,  $W_3$  ao peso após o cruzeiro, e  $W_4$  ao peso depois da fase de espera. Finalmente,  $W_5$  representaria o peso da aeronave ao término da fase de pouso, que também marca o fim da missão (RAYMER, 2018).

Durante cada etapa da missão, o peso da aeronave diminui à medida que o combustível é consumido. A proporção entre o peso da aeronave ao final de uma etapa da missão e o peso no início dessa mesma etapa é conhecida como "fração de peso da etapa da missão". Essa relação é fundamental para estimar a fração de combustível necessária no processo de dimensionamento inicial da aeronave. Para qualquer etapa específica da missão, desig-

nada como "i", essa fração de peso pode ser expressa pela fórmula  $(W_i/W_{i-1})$ . Se for possível determinar essas frações de peso para todas as etapas da missão, elas podem ser multiplicadas para calcular a relação entre o peso da aeronave ao final da missão e o peso inicial, denotada como  $W_x$  (assumindo x etapas a partir de  $W_o$ ). Essa relação  $W_x/W_o$  é então utilizada para determinar a fração total de combustível necessária para a missão completa. Para simplificar o dimensionamento inicial no projeto conceitual da aeronave, os tipos de etapas da missão serão limitados a aquecimento e decolagem, subida, cruzeiro, espera e pouso. As frações de peso correspondentes a aquecimento, decolagem e pouso podem ser estimadas com base em dados históricos. A Tabela 8 apresenta valores típicos históricos que servem como referência para o dimensionamento inicial. Embora esses valores possam variar ligeiramente dependendo do tipo de aeronave, as médias fornecidas na tabela são consideradas adequadas para essa fase inicial do dimensionamento. No método de dimensionamento simplificado adotado aqui, a fase de descida é desconsiderada, partindo do pressuposto de que o cruzeiro termina com uma descida e que a distância coberta durante a descida já está incluída no alcance de cruzeiro (RAYMER, 2018).

Tabela 8 – Frações de peso do segmento de missão histórica

Segmento da Missão	$(W_i/W_{i-1})$
Aquecimento e decolagem	0,970
Subida	0,985
Pouso	0,995

Fonte: (RAYMER, 2018).

Para conseguir calcular o gasto de combustível durante o voo de cruzeiro, é interessante utilizar a Equação de *Breguet*:

$$\frac{W_i}{W_{(i-1)}} = \exp \frac{-RC}{V(L/D)} \quad (6.3)$$

Sendo que R é o alcance, C a taxa de consumo específico, L/D a taxa de eficiência aerodinâmica e V é a velocidade. Para o calcular o gasto de combustível durante a fase de circulação/espera, usa-se a Equação de Resistência:

$$\frac{W_i}{W_{(i-1)}} = \exp \frac{-EC}{L/D} \quad (6.4)$$

Sendo que E é o tempo de espera/circulação.

Para conseguir resolver as equações anteriores, será necessário encontrar, primeiramente, os valores de C e L/D.

Para determinar o valor do consumo específico de combustível, basicamente se divide a taxa de consumo de combustível pela força de empuxo gerada pelo motor. No

caso de motores a jato, o consumo específico de combustível é medido em termos de fluxo de massa de combustível consumida por hora por unidade de força de empuxo produzida (RAYMER, 2018).

Para que se tenha desempenho mais próximo, será considerado o consumo do motor *Rolls Royce BR725* utilizado no G650 (uma das aeronaves em comparação). Com isso, ele possui um consumo de 0,65 l/h em cruzeiro e 0,57 l/h em espera (ROYCE, 2024).

Agora é preciso calcular o valor estimado de L/D, que representa a eficiência aerodinâmica geral do projeto. Diferente dos parâmetros previamente calculados, o L/D é fortemente influenciado pela configuração específica do design da aeronave. Em velocidades subsônicas, a eficiência L/D é predominantemente afetada pela envergadura da asa e pela área molhada da aeronave (RAYMER, 2018).

Tanto o arrasto induzido, que surge diretamente da geração de sustentação, quanto o arrasto parasita, que ocorre independentemente da produção de sustentação, têm uma influência significativa sobre o valor de L/D, que mede a eficiência aerodinâmica da aeronave. O arrasto induzido é fortemente impactado pela envergadura da asa, o que é quantitativamente representado pelo razão de aspecto (RA). O RA é calculado ao elevar ao quadrado a envergadura da asa e dividir esse valor pela área de referência da asa. Em asas de formato retangular, o RA pode ser obtido simplesmente dividindo a envergadura pela corda da asa. Por outro lado, o arrasto parasita está relacionado à área molhada total da aeronave, que engloba não apenas a área da asa, mas também todas as superfícies expostas ao fluxo de ar. Isso significa que, enquanto o RA se concentra na relação entre a envergadura da asa e sua área, o arrasto parasita leva em consideração a complexidade total do projeto aerodinâmico, destacando a importância de uma análise cuidadosa de todos os componentes da aeronave para otimizar a eficiência aerodinâmica (RAYMER, 2018).

Como apresentado no Anexo A, as aeronaves que se aproximam do jato do projeto conceitual possuem um  $L/D_{max}$  em aproximadamente 16,9. Esse valor será utilizado.

O arrasto de uma aeronave muda conforme a altitude e a velocidade variam. Para cada altitude específica, existe uma velocidade que otimiza a relação entre sustentação e arrasto (L/D). Para alcançar a máxima eficiência durante o voo de cruzeiro ou em uma situação de espera, a aeronave deve operar próxima à velocidade que oferece o valor máximo de L/D. Para aeronaves a jato, a velocidade de espera mais eficiente coincide diretamente com a velocidade que maximiza o L/D, resultando em um L/D equivalente a 86,6% do seu valor máximo (RAYMER, 2018).

Assim, de acordo a Tabela 9, no momento do cruzeiro, o L/D valerá  $0,866 \times 16,9 = 14,7$  e no momento de espera/circulação é o valor cheio, 16,9.

Com isso, é possível calcular as frações de peso de combustível:

Tabela 9 – Valores de L/D nos momentos de cruzeiro e de espera

	<b>Cruzeiro</b>	<b>Espera</b>
Jato	$0,866L/D_{(max)}$	$L/D_{(max)}$
Hélice	$L/D_{(max)}$	$0,866L/D_{(max)}$

Fonte: (RAYMER, 2018).

1. Aquecimento e decolagem

$$\frac{W_1}{W_0} = 0,970$$

2. Subida

$$\frac{W_2}{W_1} = 0,985$$

3. Cruzeiro

Usando a Equação 6.3, com os seguintes dados:

R=12300 km C=0,65 l/h V=1111,32 L/D=14,70

$$\frac{W_3}{W_2} = \exp \frac{-12300 \times 0,65}{1111,32 \times 14,7}$$

$$\frac{W_3}{W_2} = 0,612$$

4. Espera

Para calcular a fração de espera, será utilizado a Equação 6.4, com o seguinte valor de tempo de espera:

E= 45 min = 3/4 h

$$\frac{W_4}{W_3} = \exp \frac{-3/4 \times 0,57}{16,9}$$

$$\frac{W_4}{W_3} = 0,988$$

5. Pouso

$$\frac{W_5}{W_4} = 0,995$$

Tendo cada fração de peso de combustível em cada etapa calculada anteriormente, é possível determinar a fração de combustível total utilizando a Equação 6.5:

$$\frac{W_f}{W_0} = 1.06 \left(1 - \frac{W_x}{W_0}\right) \quad (6.5)$$

Sendo que:

$$\frac{W_x}{W_0} = \frac{W_5}{W_0} = (0,970) \times (0,985) \times (0,612) \times (0,988) \times (0,995) = 0,574$$

Com isso, voltando na Equação 6.5:

$$\frac{W_f}{W_0} = 1,06 \times (1 - 0,574)$$

$$\frac{W_f}{W_0} = 0,450$$

### 6.3 Peso Vazio

A fração do peso vazio ( $W_e/W_0$ ) pode ser estimada estatisticamente com base em dados históricos, como mostrado no Anexo A. Essas frações de peso vazio geralmente variam entre 0,3 e 0,7, e tendem a diminuir à medida que o peso total da aeronave aumenta. É importante destacar que o tipo de aeronave também tem uma influência significativa nessa proporção. Além disso, diferentes categorias de aeronaves exibem diferentes inclinações nas linhas de tendência quando se analisa a fração do peso vazio em relação ao peso de decolagem (RAYMER, 2018).

Com base na similaridade do projeto conceitual, será escolhido os valores do tipo de Jato de Transporte. Esses valores nortearão os próximos cálculos. A fração de peso vazio ( $W_e/W_0$ ) pode ser encarado como:

$$\left(\frac{W_e}{W_0}\right) = AW_0^C K_{vs} \quad (6.6)$$

Tabela 10 – Valores de  $A$  e  $C$  para definição do peso vazio.

$W_e/W_0 = AW_0^C K_{vs}$	<b>A</b>	<b>C</b>
Jato de Transporte	0,97	-0,06

Fonte: (RAYMER, 2018).

Nos novos projetos de aeronaves, materiais compostos, como grafite-epóxi, estão sendo usados em substituição ao alumínio. Para estimar a fração de peso vazio de uma aeronave construída com esses materiais compostos, aplica-se uma abordagem que envolve multiplicar 0,95 pela fração de peso vazio estatística correspondente, derivada da tabela apropriada ( $K_{vs} = 0,95$ ). Assim, utilizando a Equação 6.6 com os valores da Tabela 10, é possível calcular a fração de peso vazio:

$$\frac{W_e}{W_0} = 0,97 \times W_0^{-0,06} \times 0,95 \quad (6.7)$$

A partir da Equação 6.7, é necessário criar uma tabela com valores aleatórios (será utilizado valores próximos dos pesos das aeronaves concorrentes) de  $W_0$  para que se encontre valores de  $W_e$  e assim seja possível calcular a relação  $W_e/W_0$ :

Tabela 11 – Valores aleatórios para estimação do peso vazio

$W_0$ , estimado	$W_e/W_0$	$W_e$	$W_0$ , calculado	Erro
50000	0,48146	24072,8	44206,6	-5793,41
45500	0,48419	22030,6	46061	560,963
45900	0,48393	22212,6	45881,9	-18,119
45887	0,48394	22206,7	45887,7	0,65336

Fonte: Do Autor.

Sendo assim, o  $W_0$  será de 45887 kg.

## 6.4 Projeto estrutural fuselagem

Após determinar o peso bruto de decolagem, é possível avaliar a configuração física da fuselagem da aeronave. Em alguns tipos de aeronaves, o tamanho da fuselagem é diretamente determinado pela carga útil que ela precisa transportar. No caso de um avião de passageiros, a maior parte do comprimento da fuselagem é dedicada ao compartimento destinado aos passageiros. Levando em conta o número de passageiros e a disposição dos assentos em cada fileira, tanto o comprimento quanto o diâmetro da fuselagem são basicamente definidos (RAYMER, 2018).

Na fase inicial de desenvolvimento da fuselagem, a Figura 12 fornece fórmula estatística para estimar o comprimento da fuselagem. Essa fórmula é derivada exclusivamente com base no peso bruto de decolagem e mostra uma correlação muito precisa com as características da maioria das aeronaves em operação (RAYMER, 2018).

Tabela 12 – Valores de a e C para definição do comprimento

Comprimento = $aW_0^C$ (m)	a	C
Jato de Transporte	0,287	0,43

Fonte: (RAYMER, 2018).

De acordo com a Figura 12, para um cálculo inicial aproximado do comprimento da aeronave, pode-se utilizar a Equação 6.8:

$$\text{Comprimento} = aW_0^C \quad (6.8)$$

Utilizando os dados da própria Figura 12 e o valor do peso bruto encontrado anteriormente, é possível calcular o comprimento:

$$\text{Comprimento} = 0,287 \times 45887^{0,43}$$

Comprimento = 29m

A Figura 55 define diversos parâmetros geométricos fundamentais para a fuselagem, enquanto a Tabela 13 fornece os intervalos atuais para esses parâmetros. A menos que existam razões técnicas sólidas, é aconselhável não ultrapassar esses intervalos recomendados (ROSKAM, 1985).

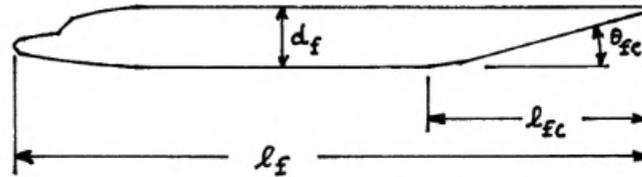


Figura 55 – Parâmetros geométricos na fuselagem. Fonte: (ROSKAM, 1985).

Tabela 13 – Valores dos parâmetros geométricos essenciais para fuselagem

Tipo de Aeronave	$l_f/d_f$	$l_{fc}/d_f$	$\theta_{fc}$
Jatos Executivos	7 - 9,5	2,5 - 5	6 - 11

Fonte: (ROSKAM, 1985).

Usando as relações da Tabela 13 com o valor do comprimento da aeronave anteriormente encontrado:

$$d_f = \frac{29}{9,5}$$

$$d_f = 3m$$

Com isso, a fuselagem terá 3 metros de diâmetro, o que faz com que seja totalmente possível a cabine interna possuir 2 metros de altura interna. Também é possível ter 2,70 m de largura interna da cabine. Para as outras definições, será utilizado os dados da Figura 56:

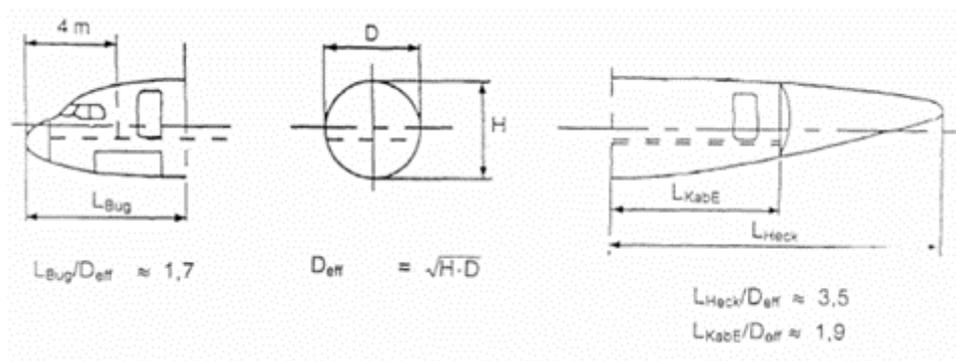


Figura 56 – Parâmetros e relações métricas da fuselagem. Fonte: (SCHOLZ, 2015).

Para o cálculo do  $D_{eff}$ , será de:

$$D_{eff} = \sqrt{3 \times 3} = 3m$$

Com isso, é possível calcular o comprimento  $L_{bug}$ , da parte da frente da aeronave.

$$L_{bug} = 1,7 \times D_{eff}$$

$$L_{bug} = 1,7 \times 3 = 5,1m$$

Agora, será possível usar a outra relação para calcular o comprimento de trás da aeronave:

$$l_{fc} = L_{heck} = 3,5 \times 3 = 10,5m$$

A partir disso, a relação  $l_{fc}/d_f$  será mantida, visto que a razão de comprimento de cauda e altura da fuselagem está entre 2,5 a 5.

$$\frac{l_{fc}}{d_f} = \frac{10,5}{3} = 3,5$$

Com isso, o comprimento da cabine será:

$$l_{cabine} = 29m - 5,1m - 10,5m$$

$$l_{cabine} = 13,4m$$

Aqui é interessante perceber que alguns valores precisaram ser readequados em relação ao pensamento inicial para que o projeto fosse mais viável. A Tabela 14 mostra alguns parâmetros que antes tinham sido estipulados, mas com os cálculos esses valores foram reajustados senão não era possível encontrar um valor plausível do peso bruto de decolagem, que é um parâmetro de relevância no dimensionamento de uma aeronave.

Tabela 14 – Grandezas que mudaram com o avanço do projeto

<b>Grandezas</b>	<b>Antes</b>	<b>Depois</b>
Mach máximo	0,86	0,9
Alcance	13600 km	12300 km
Comprimento da cabine	13,80 metros	13,40 metros
Altura interna	1,89 metros	2 metros
Largura interna	2,45 metros	2,70 metros

Fonte: Do Autor.

Isso mostra que mesmo tendo uma análise crítica de mercado e de concorrência, o papel dos cálculos ainda é super importante.

## 6.5 Geometria da Asa

O foco deste trabalho não é a parte exterior da aeronave, mas será projetado o posicionamento inicial da asa, nacele e empenagem. Então, será feito um primeiro "chute" do dimensionamento desses grupos, algo embrionário, mas de grande valia e consideração.

Para um bom início do dimensionamento da asa, é interessante encontrar os parâmetros que são o  $C_{root}$ ,  $C_{tip}$  e  $b$ . Eles são a corda<sup>1</sup> da raiz, corda da ponta e envergadura<sup>2</sup> da asa, respectivamente (RAYMER, 2018). Suas equações são denotadas a seguir:

$$C_{raiz} = \frac{2S}{b(1 + \lambda)} \quad (6.9)$$

$$b = \sqrt{AS} \quad (6.10)$$

$$C_{ponta} = \lambda C_{root} \quad (6.11)$$

Nas Equações 6.9, 6.10 e 6.11 é necessário encontrar  $S$ ,  $\lambda$  e  $A$  que são a área da asa, razão de afilamento e razão de aspecto, respectivamente (RAYMER, 2018). Outro parâmetro que não está nessas equações, mas será muito útil em breve é o  $\Lambda$  que é o ângulo de enflechamento. Antes de continuar, será definido esses valores.

Começando pela área da asa ( $S$ ), ela é definida como:

$$S = \frac{W}{W/S} \quad (6.12)$$

Sendo que o  $W$  é o peso bruto de decolagem, calculado anteriormente nesse capítulo e tendo valor de 45887 kg e o  $W/S$  é a carga alar.

A carga alar é a relação entre o peso da aeronave e a área de sua asa de referência. Esse parâmetro influencia diretamente diversos aspectos do desempenho da aeronave, impactando tanto sua segurança quanto sua eficiência operacional (RAYMER, 2018). A Tabela 15 mostra valores históricos de tendência de carga alar de vários modelos de aeronaves. Será utilizado o valor de 586 que é o de jato de transporte.

<sup>1</sup>A corda é a distância do bordo de ataque até o bordo de fuga do aerofólio da asa (RAYMER, 2018).

<sup>2</sup>A envergadura é considerada como a distância entre as pontas das 2 asas (RAYMER, 2018).

Tabela 15 – Tendências de carga alar

Valores típicos de decolagem W/S		
Tendências históricas	$lb/ft^2$	$kg/m^2$
Planador	6	30
Avião caseiro	11	54
Aviação geral - monomotor	17	83
Aviação geral - bimotor	26	127
Turboélice duplo	40	195
Jato de treinamento	50	244
Caça	70	342
Jato de transporte/bombardeiro	120	586

Fonte: Modificado de (RAYMER, 2018).

Seguindo para o ângulo de enflechamento ( $\Lambda$ ) que é um parâmetro que a maioria das aeronaves de alta velocidade adota, e isso por bons motivos. O enflechamento ajuda a mitigar os efeitos negativos do fluxo de ar em velocidades transônicas e supersônicas (RAYMER, 2018). O Anexo B mostra tendências históricas de enflechamento do bordo de ataque de asas versus o número de *mach*, que no caso deste projeto tem valor máximo de 0,9. Para isso, o ângulo de enflechamento será de  $32^\circ$ .

O enflechamento é aplicado na parte da frente da asa como é simplificado no Anexo B

Com isso, a aeronave conceito terá uma asa enflechada como mostra a Figura 57. Mais pra frente será mostrado o LOFT completo.

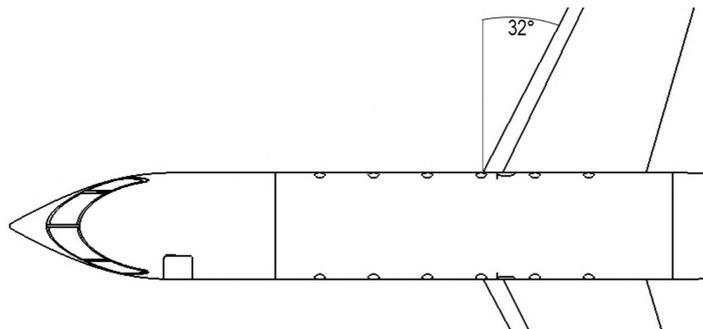


Figura 57 – Enflechamento da asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor.

A partir disso, será possível encontrar o valor da razão de afilamento ( $\lambda$ ). esse parâmetro é a proporção entre a corda da asa na ponta e a corda da asa na raiz, que é a parte mais próxima ao corpo da aeronave. Em asas com baixo enflechamento, essa razão de afilamento costuma variar entre 0,4 e 0,5. Já nas asas enflechadas, essa razão tende a ser um pouco menor, girando em torno de 0,2 a 0,3. O afilamento da asa influencia como a sustentação é distribuída ao longo da envergadura da asa. Em outras palavras, uma asa com uma razão de afilamento específica pode afetar a eficiência aerodinâmica

e o comportamento da aeronave, ajustando a forma como a sustentação é gerada em diferentes partes da asa. O design da razão de afilamento é uma consideração crucial para otimizar o desempenho de voo e a estabilidade da aeronave (RAYMER, 2018). Com isso, como a aeronave conceito possui uma asa com um bom valor de enflechamento, a razão de afilamento escolhido será de 0,2.

Outra grandeza importante para o bom dimensionamento da asa é a razão de aspecto ( $A$ ). Uma aeronave com uma alta razão de aspecto tem uma ponta de asa mais distante. Ela é importante, resumidamente, para diminuir a quantidade de asa afetada pelo vórtice<sup>1</sup> de ponta de asa, então uma asa com boa razão de aspecto experimenta menos perda de sustentação e aumento de arrasto devido a esse efeito na ponta (RAYMER, 2018). Ela pode ser encontrada utilizando dados históricos de valores equivalentes de razões de aspecto mostrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Equivalentes de razões de aspecto em jatos

<b>Valores equivalentes de razão de aspecto = <math>aM_{max}^C</math></b>		
<b>Jatos</b>	<b>a</b>	<b>C</b>
Treinamento	4,737	-0,979
Caça	5,416	-0,622
Carga militar/bombardeiro	5,570	-1,075
Transporte	7,50 até 10	0

Fonte: Modificado de (RAYMER, 2018).

Com isso, utilizando os dados do jato de transporte, a razão de aspecto ficará:

$$A = aM_{max}^C \quad (6.13)$$

$$A = 10 \times 0,9^0 \quad (6.14)$$

$$A = 10 \quad (6.15)$$

Próximo fator muito importante para o dimensionamento da asa é o diedro. Esse ângulo da asa é a inclinação em relação à horizontal quando a aeronave é observada de frente, como mostra a Figura 58 Quando o diedro é positivo, ou seja, quando as pontas da asa estão elevadas em comparação com a raiz da asa, isso ajuda a aeronave a se manter nivelada quando está inclinada. Ele melhora a estabilidade lateral da aeronave, ajudando-a a retornar à posição de voo nivelada automaticamente quando a inclinação é reduzida (RAYMER, 2018).

<sup>1</sup>Os vórtices podem aparecer quando o ar de alta pressão abaixo da asa escapa para a parte superior da asa de baixa pressão (RAYMER, 2018).



Figura 58 – Asa teórica com o diedro positivo. Fonte: (RAYMER, 2018).

O interessante é que a figura anterior mostra uma aeronave com asa baixa, que será a mesma adotada na aeronave conceito. Isso porque é a mesma que os concorrentes da categoria utilizam como visto nas Figuras 59 e 60 dos modelos 650ER da *Gulfstream* e Global 5500 da *Bombardier* e mostra que aeronaves dessa categoria usam o mesmo.

Além disso, essa abordagem possui vantagem de recolher o trem de pouso de forma mais fácil e sem uma bolha externa, já que naquela região, a estrutura está reforçada por conta da asa (RAYMER, 2018).



Figura 59 – Gulfstream 650ER com asa baixa. Fonte: (GULFSTREAM, 2022).



Figura 60 – Bombardier Global 5500 com asa baixa. Fonte: (BOMBARDIER, 2023a).

Assim, é possível encontrar o ângulo de diedro com a Tabela 17 sendo que a asa é baixa em voo normal no regime subsônico. Por isso o ângulo será de  $5^\circ$ .

Tabela 17 – Valores de ângulos de diedro para diferentes tipos de asas.

	Posição da asa		
	Baixa	Médio	Alto
Não enflechada (civil)	5 até 7	2 até 4	0 até 2
Asa enflechada subsônica	3 até 7	-2 até 2	-5 até -2
Asa enflechada supersônica	0 até 5	-5 até 0	-5 até 0

Fonte: Modificado de (RAYMER, 2018).

Assim, com esse ângulo de diedro, a asa da aeronave conceito ficará como ilustrado na Figura 61.

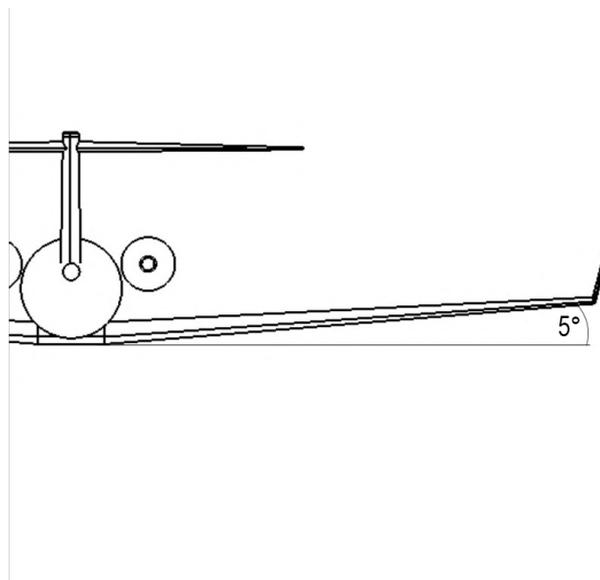


Figura 61 – Asa da aeronave conceito com o ângulo de diedro de 5°. Fonte: Do Autor.

Agora é possível retornar aos cálculos dos valores de parâmetros inicialmente mostrados. Utilizando o peso bruto de decolagem de 45887 kg e carga alar de 586, a área da asa da Equação 6.12 ficará:

$$S = \frac{45887}{586}$$

$$S = 78,3m^2$$

Agora, com o valor de razão de aspecto igual a 10 e com a área de asa calculada anteriormente, é possível calcular a envergadura da asa da Equação 6.10:

$$b = \sqrt{10 \times 78,3}$$

$$b = 27,98m$$

A Figura 62 ilustra a aeronave conceito com um lado da asa possuindo esse tamanho encontrado. É importante salientar que o comprimento de uma asa é  $b/2$ .

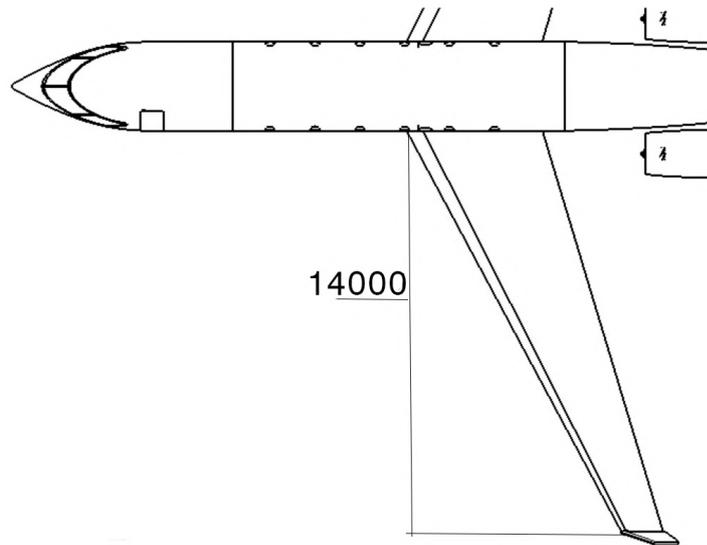


Figura 62 – Visualização do tamanho da asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor.

Com isso será possível calcular a corda da raiz e ponta da asa, provenientes das Equações 6.9 e 6.11 utilizando os dados achados anteriormente e da razão de afilamento:

$$C_{raiz} = \frac{2 \times 78,3}{27,98(1 + 0,2)}$$

$$C_{raiz} = 4,66m$$

$$C_{ponta} = 4,66 \times 0,2$$

$$C_{ponta} = 1,398m$$

Uma grandeza interessante de ser considerada na asa é a espessura dela. Para isso, será olhado para o perfil do aerofólio adotado, que é a seção transversal da asa. Alguns exemplos estão mostrados na Figura 63. Primeiramente, é importante adotar um tipo de perfil. Os aerofólios da série 6, como a série 64A, ainda são amplamente utilizados como ponto de partida para o design de asas de alta velocidade. Para um pouco mais de detalhe: os aerofólios da série seis, incluindo o 64A, permanecem como uma escolha popular entre engenheiros e projetistas quando iniciam o desenvolvimento de asas destinadas a altas velocidades. Esses perfis aerodinâmicos são valorizados por suas características e desempenho comprovados em aplicações de alta velocidade, servindo como base sólida para a criação de designs mais avançados e eficientes em termos de aerodinâmica (RAYMER, 2018). Por isso, será adotado o aerofólio NACA 64 A010 nesse design inicial.

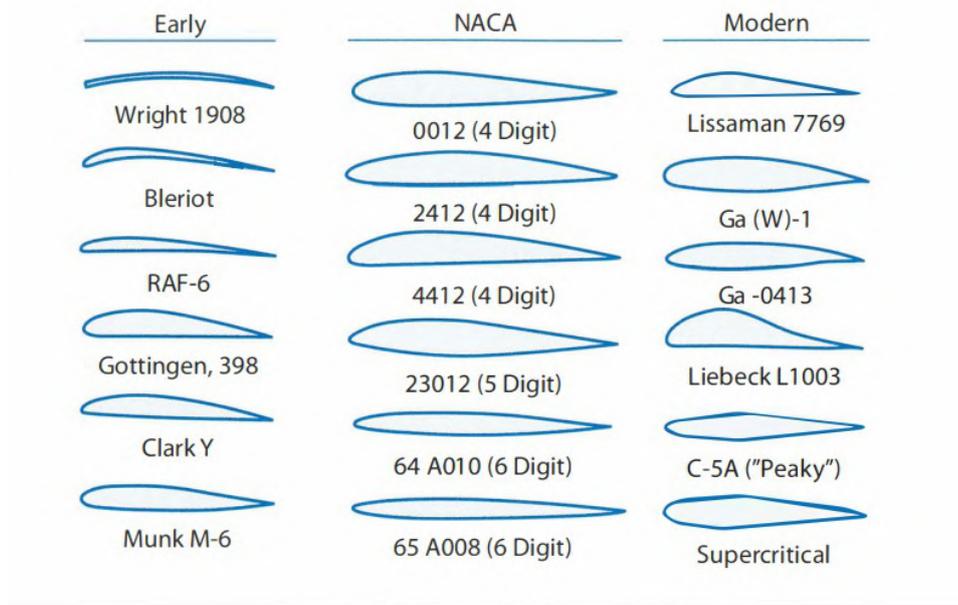


Figura 63 – Exemplos de aerofólios típicos. Fonte: (RAYMER, 2018).

Agora, para encontrar a espessura do aerofólio, será utilizado as relações no Anexo B que mostra valores de tendência histórica de razão de espessura com valores de número de mach máximo. Com mach 0,9 é encontrado um  $t/c$  de 0,14.

Assim, é possível calcular a espessura na corda da raiz da asa usando a seguinte relação:

$$\frac{t}{C_{raiz}} = 0,14$$

$$t_{raiz} = 0,652m$$

A Figura 66 mostra a corda na raiz da asa e a espessura, ambas já aqui calculadas.

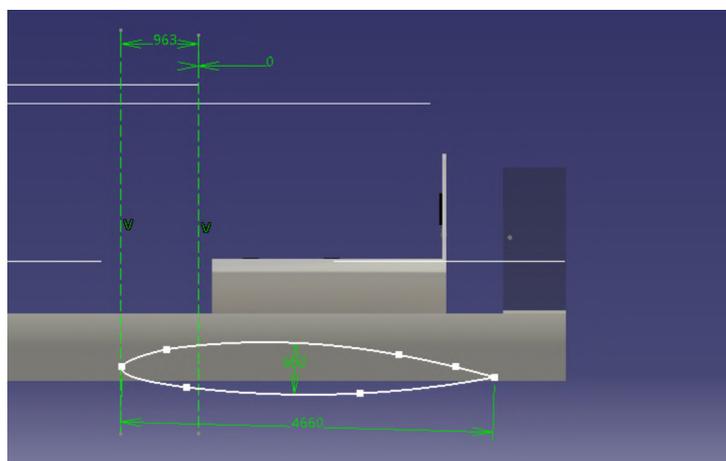


Figura 64 – Perfil do aerofólio da asa e suas dimensões. Fonte: Do Autor.

Por último, é importante ser definido em qual região do comprimento da fuselagem será colocado a asa. Um bom ponto de partida é tentar chutar um envelope inicial do centro de gravidade da aeronave.

No Anexo B mostra valores que não são estimativas tão boas, mas são rápidas de valores históricos para várias classes de aeronaves. Esses dados podem ser usados no início de projeto e numa estimativa embrionária como neste trabalho (RAYMER, 2018). No Anexo, mostra a localização de peso da aeronave vazia e é possível perceber que o centro de gravidade está dentro do envelope de 40-50% do comprimento total da aeronave e esse será o ponto de partida.

Uma aeronave (como a aeronave conceito) com empenagem traseira, aumenta a estabilidade. Para garantir que uma aeronave com esse tipo de estabilizador seja estável, a asa deve ser colocada inicialmente de maneira que o centro de gravidade (CG) da aeronave se encontre em torno de 30% da corda aerodinâmica média (MAC). Quando se leva em conta o impacto combinado da fuselagem e do estabilizador traseiro, isso resulta em um nível adequado de estabilidade para a aeronave (RAYMER, 2018). Assim, é de grande valia calcular o MAC e a partir disso, localizar a asa em relação ao centro de gravidade da aeronave. Para encontrar o MAC, será usado a seguinte equação:

$$MAC = \frac{2}{3} C_{raiz} \frac{1 + \lambda + \lambda^2}{1 + \lambda} \quad (6.16)$$

$$MAC = \frac{2}{3} \times 4,66 \times \frac{1 + 0,2 + 0,04}{1,2}$$

$$MAC = 3,21m$$

Tendo o MAC como 3,21 metros, fazendo  $0,3 \times 3,21$ , a posição do CG será de 963 mm atrás do bordo de ataque da asa. Como visto anteriormente, o CG está num envelope de 40 a 50% do comprimento, logo, ele começa na posição de 11,6 metros. A Figura 65 Em relação ao aerofólio da asa, a Figura 66 mostra a corda na raiz da asa e a espessura, ambas já aqui calculadas. .

Na Figura 67 é mostrado o mesmo aerofólio, porém, na ponta da asa. Ele é menor do que na raiz devido que a asa não é constante ao longo do seu comprimento e, portanto ela afunila. Com isso, ela possui uma corda de ponta de asa já calculado anteriormente.

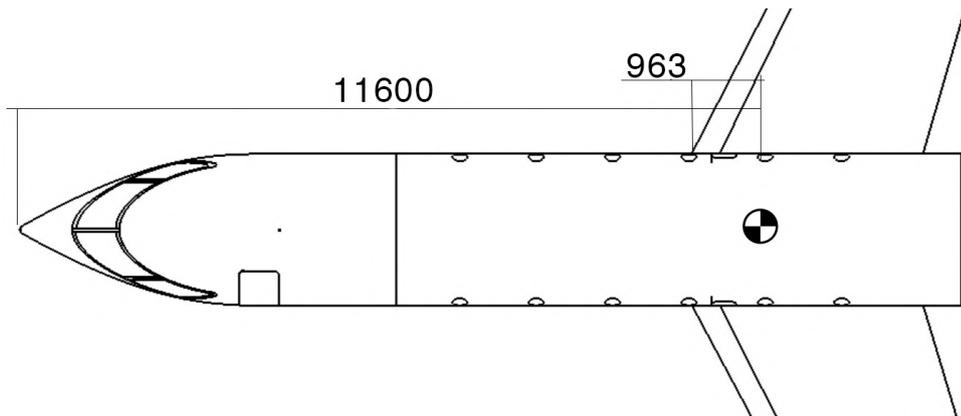


Figura 65 – Localização do início do CG e localização do CG em relação ao bordo de ataque da asa. Fonte: Do Autor.

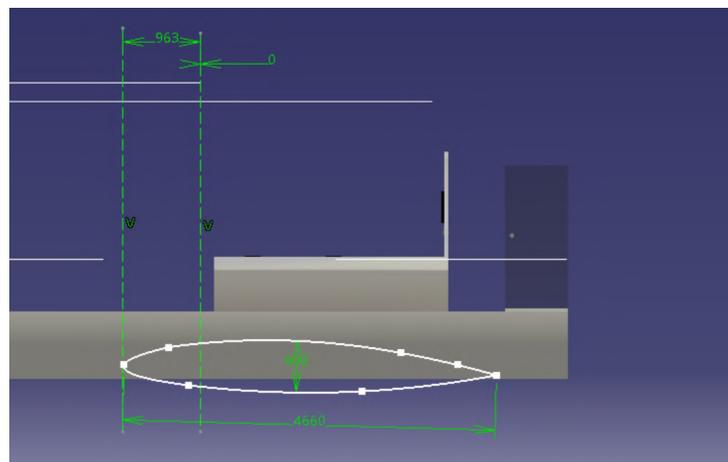


Figura 66 – Perfil do aerofólio da raiz da asa e suas dimensões. Fonte: Do Autor.

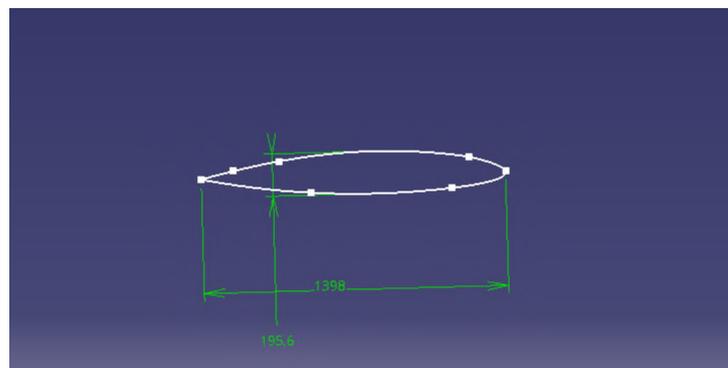


Figura 67 – Perfil do aerofólio da ponta da asa e suas dimensões. Fonte: Do Autor.

A ponta da asa é uma parte muito importante. Por isso, existem várias opções de escolha para se colocar na asa, como mostrado na Figura 68.

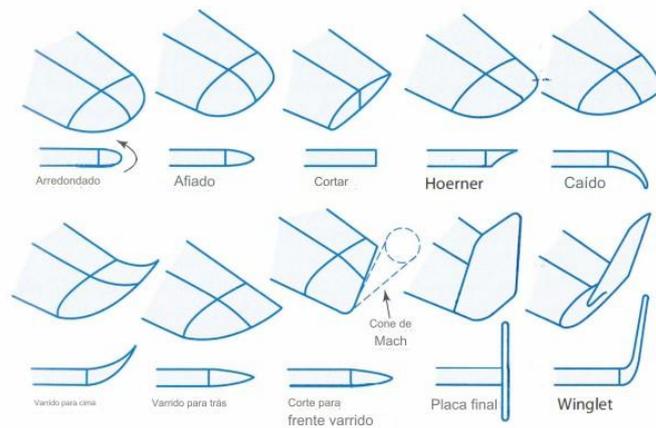


Figura 68 – Tipos de pontas de asa. Fonte: (RAYMER, 2018).

Por ser uma versão avançada de ponta de asa e usada nas aeronaves atuais como nas Figuras 59 e 60 e produzir uma redução adicional de arrasto, aumentando a relação sustentação-arrasto em até 20% (RAYMER, 2018), será utilizado o winglet. Essa superfície vertical apontada pra cima é como se fosse uma pequena asa. A geometria será baseada com a Figura 69 com algumas modificações.

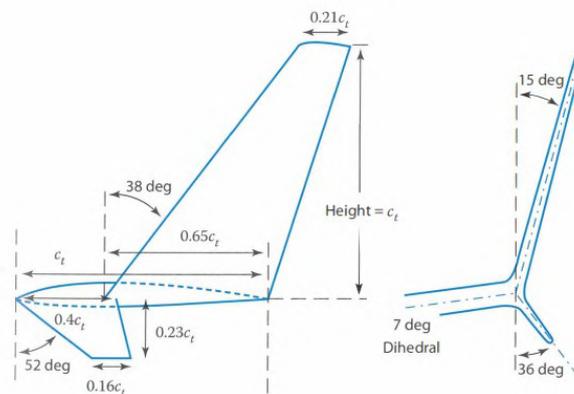


Figura 69 – Geometria padrão de uma winglet. Fonte: (RAYMER, 2018).

Tipicamente, a razão de espessura ( $t/c$ ) do winglet é de 8%. Com isso, ele terá uma espessura de 111,84 mm. O painel inferior que aponta pra baixo mostrado na geometria da Figura 69 contribui menos para a redução do arrasto e além do mais, corre o risco de raspar no chão se a aeronave virar demais. Por isso, em muitas aeronaves ela é retirada (RAYMER, 2018). Assim, essa geometria do winglet da aeronave conceito terá uma alteração e retirando esse painel inferior, o painel superior ocuparia todo o aerofólio. Nas Figuras 70 e 71 mostram como ficou o winglet na asa da aeronave conceito.

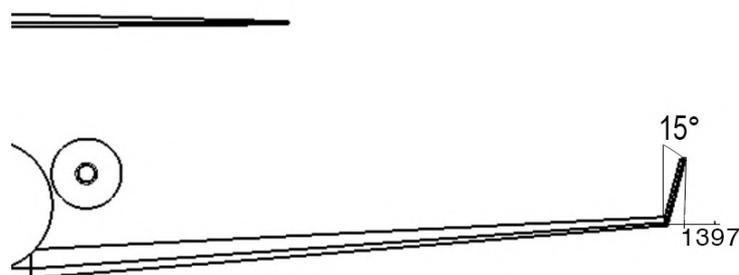


Figura 70 – Winglet visto de frente na asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor.

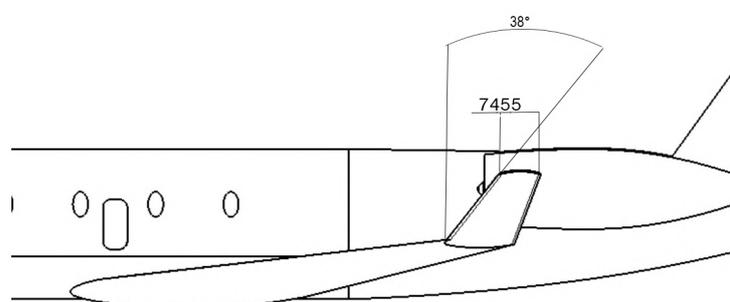


Figura 71 – Winglet visto de lado na asa da aeronave conceito. Fonte: Do Autor.

## 6.6 Geometria da Empenagem

Para seleção da empenagem traseira da aeronave, a literatura conta com vários tipos, e cada um se encaixa melhor em cada projeto em específico. Esses modelos são observados na Figura 72.

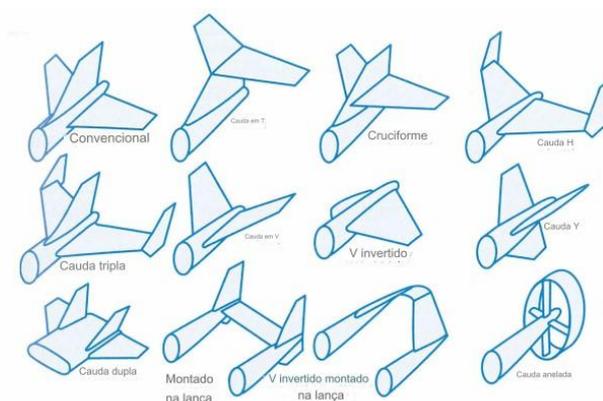


Figura 72 – Tipos de caudas de aeronaves. Fonte: (RAYMER, 2018).

Na aeronave conceito será utilizado o tipo "T". Ela apresenta um peso um pouco maior que as demais devido que o estabilizador vertical precisa ser bem forte para sustentar o estabilizador horizontal, porém, ele compensa com suas vantagens (RAYMER, 2018). Esse modelo foi escolhido por um motivo bem específico do projeto. A aeronave conceito não é tão alta, isso devido as próprias características das dimensões e por isso, fica difícil colocar os motores debaixo da asa. Sendo assim, eles precisam ser alocados para trás.

Para não ter efeitos de placa e nem ser afetado pela esteira do motor, o estabilizador horizontal precisa ser realocado mais para cima (RAYMER, 2018).

Tabela 18 – Valores de razão de aspecto e taxa de afilamento das empenagens vertical e horizontal

	Estabilizador horizontal		Estabilizador vertical	
	A	$\lambda$	A	$\lambda$
Fighter	3-4	0.2-0.4	0.6-1.4	0.2-0.4
Sailplane	6-10	0.3-0.5	1.5-2	0.4-0.6
Others	3-5	0.3-0.6	1.3-2	0.3-0.6
T-tail	-	-	0.7-1.2	0.6-1.0

Fonte: Modificado do (RAYMER, 2018)

A Tabela 18 oferece valores de razão de aspecto e taxa de afilamento para a cauda tipo "T" que foi a escolhida. Como não possui esses valores para o estabilizador horizontal, será utilizado os mesmos colocados para as asas ( $A=10$  e  $\lambda=0,2$ ), já o da vertical será escolhido  $A=1$  e  $\lambda=0,8$ .

Em relação ao enflechamento da asa, na empenagem horizontal se costuma ter  $5^\circ$  a mais do que o enflechamento da asa (RAYMER, 2018). Assim, o estabilizador horizontal terá um  $\Lambda=37^\circ$ . Já na empenagem vertical, o enflechamento varia entre  $35$  a  $55^\circ$  (RAYMER, 2018). Sendo assim, será utilizado o valor de  $35^\circ$ .

A razão de espessura do vertical segue a mesma ideia da asa da aeronave. Agora, para jatos rápidos como o deste trabalho, o estabilizador horizontal costuma ser 10% mais fino que o da asa. Sendo assim, fazendo  $0,9 \times 0,652$ , a espessura deste será de 586,8 mm e o outro, 652 mm.

A Figura 73 traz algumas importantes relações para o dimensionamento inicial e posicionamento das empenagens.

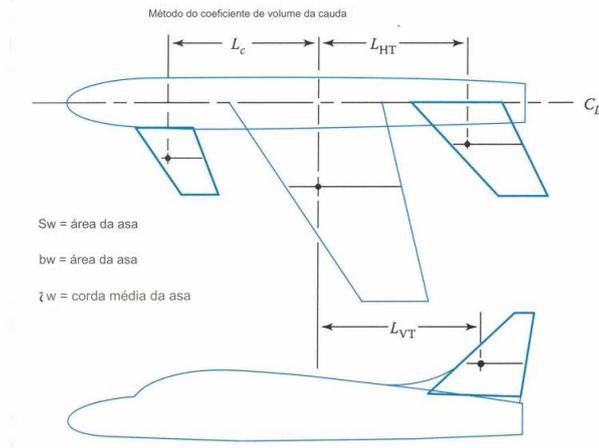


Figura 73 – Dimensionamento inicial das empenagens. Fonte: (RAYMER, 2018).

Para encontrar essas distâncias, poderá ser usado as seguintes equações:

$$S_{VT} = \frac{c_{VT} b_w S_w}{L_{VT}} \quad (6.17)$$

$$S_{HT} = \frac{c_{HT} M A C_w S_w}{L_{HT}} \quad (6.18)$$

Os valores de  $c_{HT}$  e  $c_{VT}$  para jatos de transporte é respectivamente 1 e 0,09. Porém, para empenagem tipo "T", esses valores são reduzidos em 5% (RAYMER, 2018). Sendo assim, os novos valores serão 0,95 e 0,0855 respectivamente. Usando as Equações 6.17 e 6.18, será possível encontrar o braço de momento:

$$S_{VT} = \frac{0,0855 \times 27,98 \times 78,3}{13,05}$$

$$S_{VT} = 14,35m^2$$

$$S_{HT} = \frac{0,95 \times 3,21 \times 78,3}{13,05}$$

$$S_{HT} = 18,29m^2$$

A envergadura das empenagens vertical e horizontal pode ser encontrada usando a Equação 6.10. Com auxílio da Tabela 18 e das áreas dos estabilizadores anteriormente encontrados, é possível ter:

$$b_{HT} = \sqrt{10 \times 18,29}$$

$$b_{HT} = 13,52m$$

$$b_{VT} = \sqrt{1 \times 14,35}$$

$$b_{VT} = 3,78m$$

Com todos os parâmetros encontrados, também é possível calcular a corda da raiz e da ponta de ambas as empenagens com as Equações 6.9 e 6.11.

$$C_{raizHT} = \frac{2 \times 18,29}{13,52 \times (1 + 0,2)}$$

$$C_{raizHT} = 2,25m$$

$$C_{raizVT} = \frac{2 \times 14,35}{3,78 \times (1 + 0,8)}$$

$$C_{raizVT} = 4,21m$$

$$C_{pontaHT} = 2,25 \times 0,2$$

$$C_{pontaHT} = 0,45m$$

$$C_{pontaVT} = 4,21 \times 0,8$$

$$C_{pontaVT} = 3,368m$$

Assim, os estabilizadores em forma de "T" ficaram apresentados na aeronave conceitual como visto nas Figuras 74 e 75.

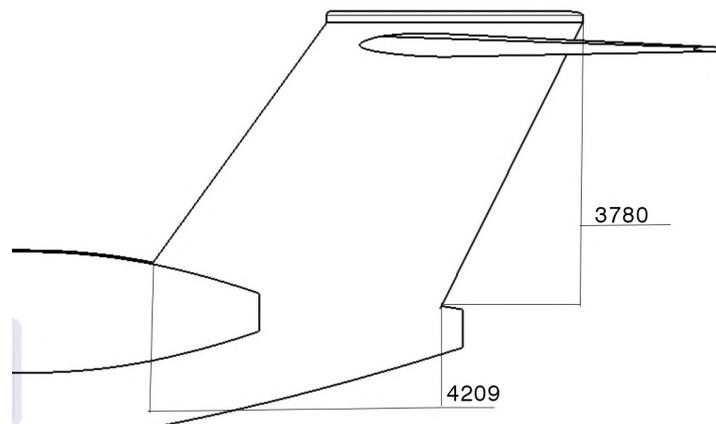


Figura 74 – Vista de cima da empenagem da aeronave conceito. Fonte: Do Autor.



## 7 Proposta de configuração de interior

### 7.1 Estrutura básica

A cabine da aeronave conta com 4 seções principais separadas por divisórias sem contar o cockpit. As dimensões de cada módulo está descrito na Figura 76.

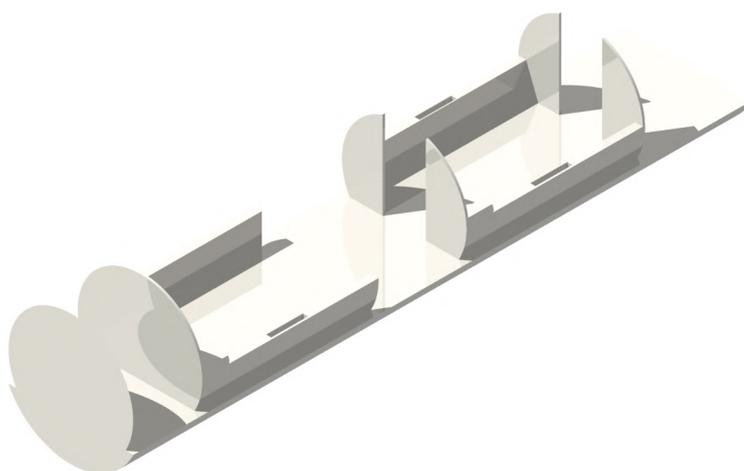


Figura 76 – Esqueleto da cabine. Fonte: Do Autor

As dimensões da cabine, inicialmente, apresentavam os valores da Figura 77. Foi necessária uma atualização desses tamanhos devido a alguns aprimoramentos que serão mostrados logo mais a frente. Assim, a cabine ficará com a versão 2 mostrada na Figura 78. A seção transversal da cabine é mostrada na Figura 79. Ela possui as dimensões propostas no Capítulo 6. É de bom agrado que a aeronave tenha *side ledge* ao lado das poltronas para que sirva de suporte lateral afim de colocar dispositivos, utensílios ou outras coisas de interesse do fabricante e/ou cliente. O *side ledge* possui dimensões mostradas nas Figuras 80 e 81. Com essas dimensões, será possível colocar um controle lateral sensível ao toque com um bom tamanho e também será possível guardar a mesa. Ambos serão mostrados logo adiante. As janelas da aeronave são partes incríveis de qualquer avião. Isso porque ela traz a visão exterior do voo para o passageiro. Por isso, essa aeronave conceito possui janelas com as dimensões apresentadas na Figura 82 que faz com que elas sejam de um bom tamanho e que, principalmente, fiquem alinhadas o máximo possível com todas as

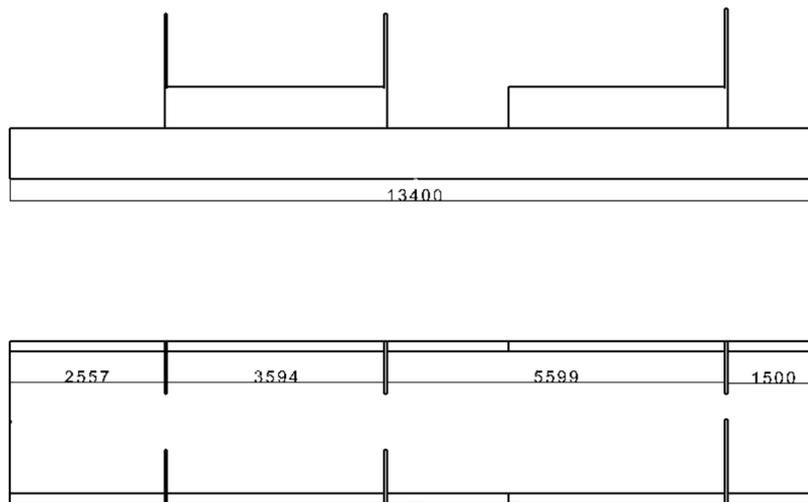


Figura 77 – Dimensões das seções propostas.

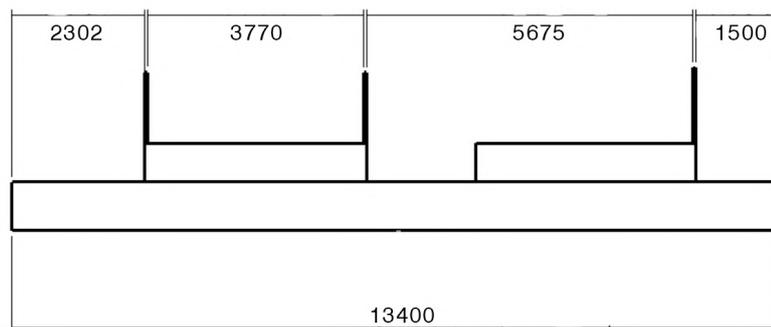


Figura 78 – Dimensões de comprimento da cabine na versão 2 (atualizada).

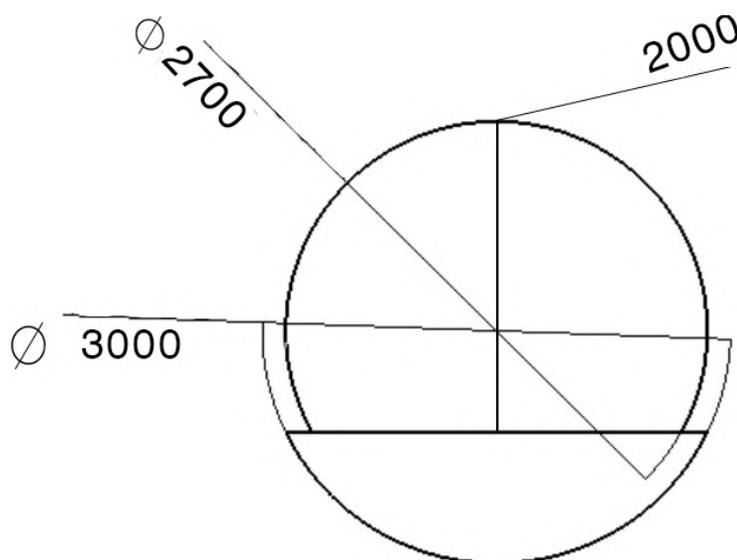


Figura 79 – Seção transversal da cabine com a dimensão de largura externa e interna e altura da cabine.

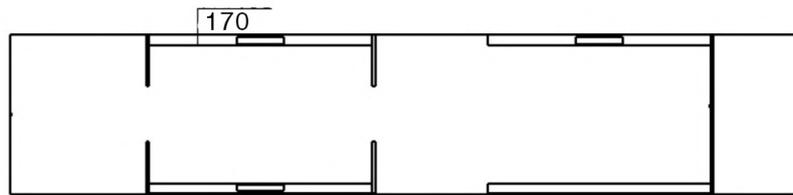


Figura 80 – Vista superior da cabine com a largura do *side ledge*.

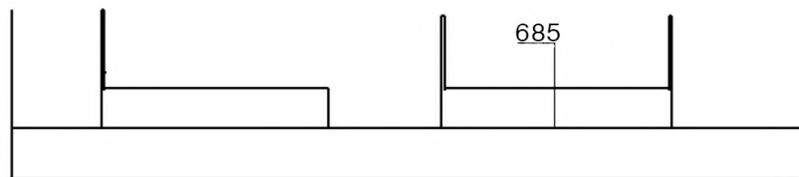


Figura 81 – Vista lateral da cabine com altura do *side ledge*.

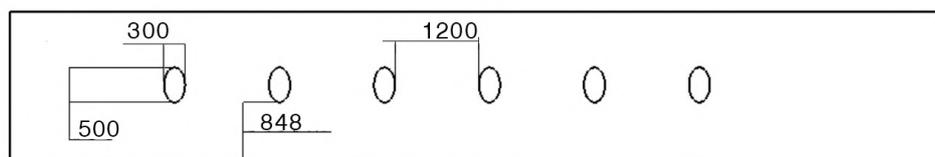


Figura 82 – Vista da lateral da cabine com as dimensões das janelas da aeronave conceito.

poltronas. Em relação ao corredor, aeronaves que comportam até 9 passageiros devem ter um corredor de pelo menos 15 polegadas (381 mm) (FAA, 2024c). Conforme a Figura 83, essa dimensão é superada tranquilamente.

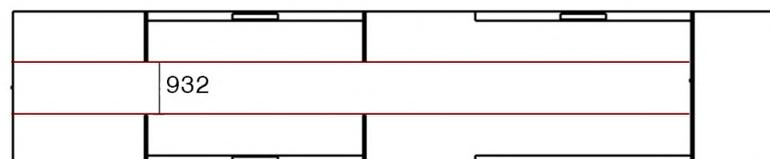


Figura 83 – Vista superior da cabine para dimensão da largura do corredor.

A cabine possui 2 portas bastante úteis. Uma acessa um lavatório simples na parte da frente e o outro acessa um lavatório maior com sala de banho na parte traseira. Para o dimensionamento das portas, é interessante que possua pelo menos 800 mm de largura, isso garante uma maior acessibilidade (ICC, 2009). Em relação à maçaneta, é orientado que tenha entre 900 mm a 1,10 m de altura em relação ao chão (TÉCNICAS, 2015).

Começando com o banheiro dianteiro, a porta segue as orientações das normas como visto na Figura 84. O lavatório dianteiro é bem pequeno, então a porta não abre 90°, mas abre de forma considerável como mostra a Figura 85. Nesse caso, o passageiro precisaria entrar de lado.

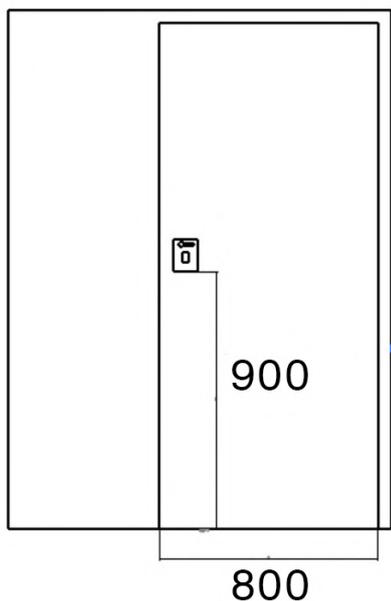


Figura 84 – Vista de frente do lavatório dianteiro com as dimensões da porta de entrada.

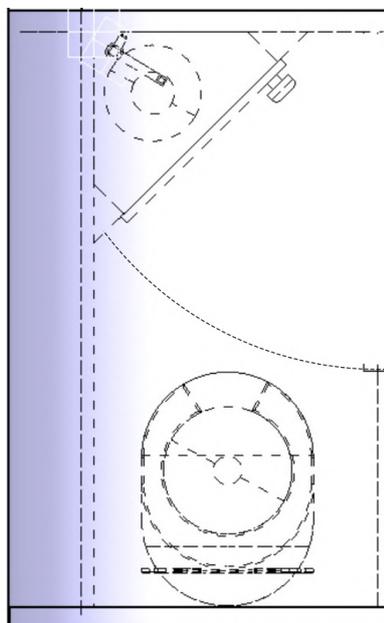


Figura 85 – Vista superior do lavatório dianteiro com a amostra da abertura da porta.

Seguindo para o lavatório principal localizado nos fundos, a Figura 86 revela que a porta também segue os padrões mostrados anteriormente. Como o *toilet* traseiro é mais amplo, a porta consegue abrir totalmente no ângulo de 90° como visto na Figura 87.

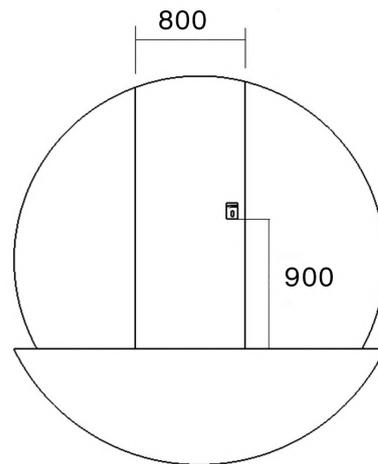


Figura 86 – Vista de frente do lavatório traseiro com as dimensões da porta.

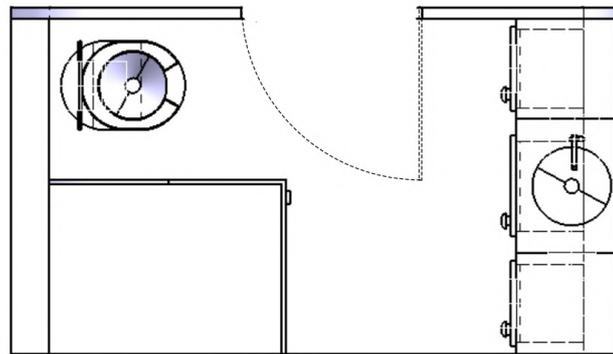


Figura 87 – Vista superior do lavatório traseiro com a amostra da abertura da porta.

## 7.2 Poltrona

A poltrona da aeronave é o aonde o passageiro ficará mais tempo durante o voo. Por isso, é interessante que a poltrona tenha um *design* ergonômico para o voo ser confortável. Por isso, as dimensões da poltrona se aproximam da Figura 88. A primeira versão criada dessa poltrona possui um banco com profundidade de cerca de 17,5 polegadas (444 mm) e um encosto de costas com uma espessura maior, como visto nas Figuras 89 e 90. É visto que além das dimensões aproximadas do (DREYFUSS, 1966), a poltrona possui curvatura na lombar e no assento para melhor encaixe do corpo. Entretanto, foi criada uma versão 2, a atual, da poltrona. Essa nova versão traz um aumento da profundidade do assento para encaixar melhor o corpo do passageiro. A análise de conforto será realizada mais a frente no capítulo. Esse novo modelo está com espessura de encosto um pouco menor e uma curvatura de lombar mais suavizada. Essa 2ª versão também traz uma outra melhoria que será mostrado quando for apresentado a poltrona totalmente inclinada. As dimensões e a poltrona atual (2ª versão) está mostrada nas Figuras 91 e 92. A poltrona reclinada

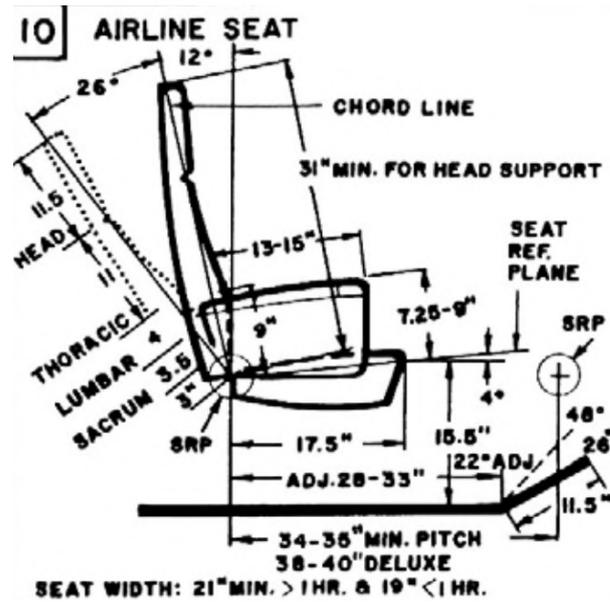


Figura 88 – Dimensões ergonômicas de uma poltrona de avião. Fonte: (DREYFUSS, 1966).

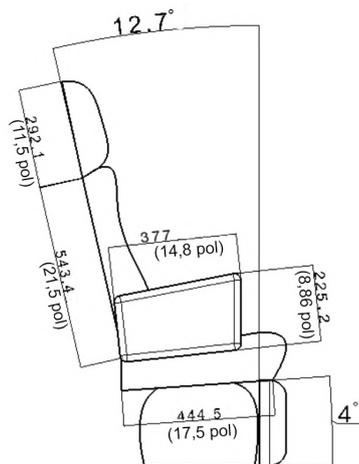


Figura 89 – Visão lateral da poltrona da 1ª versão com suas dimensões. Fonte: Do Autor



Figura 90 – Poltrona da versão anterior.

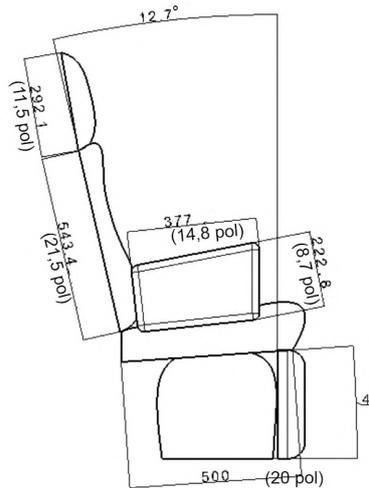


Figura 91 – Visão lateral da poltrona da 2ª versão com suas dimensões. Fonte: Do Autor



Figura 92 – Poltrona da 2ª versão (atual).

completamente, e nessa configuração, o encosto das costas possui uma curvatura muito mais suavizada em relação à posição original para que a cadeira se assemelhe o máximo possível a uma cama convencional. Na 1ª versão, o suporte de pés é único e isso faz com que a poltrona não tenha um comprimento desejável para uma pessoa de grande estatura. Essa versão é vista na Figura 93. Para corrigir esse problema, a 2ª versão da poltrona traz uma segunda extensão para as pernas e ela fica localizada dentro da primeira, representada na Figura 94. Assim, a poltrona atual (2ª versão) deitada é mostrada na Figura 95. Em relação à poltrona de jantar, ela é basicamente a poltrona simples de forma duplicada, apresentada na Figura 96. Porém, é interessante que a poltrona de jantar também reclina, deixando os passageiros mais confortáveis possível. Por isso, foi criada também uma 2ª versão da poltrona de jantar, com suporte de pés, já que a anterior não possuía e com divisão entre os bancos para que cada pessoa da poltrona consiga reclinar seu banco de forma independente. Assim, o 2º modelo e atual é representado na Figura 97.

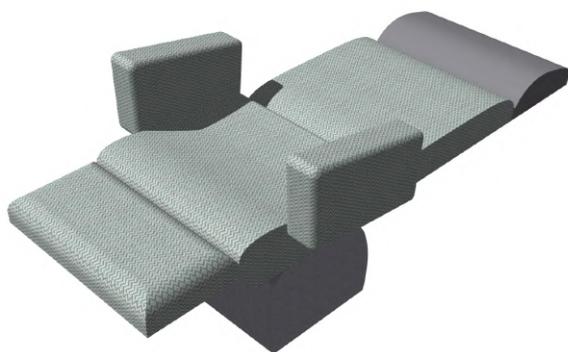


Figura 93 – Poltrona deitada da 1ª versão.

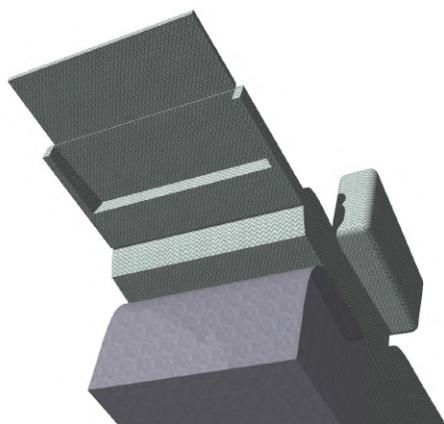


Figura 94 – Poltrona deitada da 2ª versão com extensão de pernas.



Figura 95 – Poltrona deitada da 2ª versão.



Figura 96 – Poltrona de jantar 1ª versão.



Figura 97 – Poltrona de jantar 2ª versão.

### 7.2.1 Poltrona do cockpit

As dimensões da poltrona do cockpit foram baseadas e aproximadas com os da Figura 98.

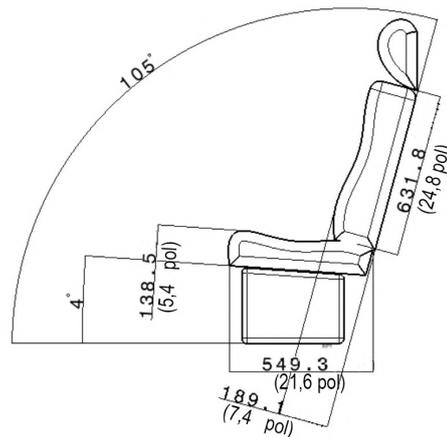


Figura 99 – Dimensões teóricas da poltrona do cockpit. Fonte: Do Autor.

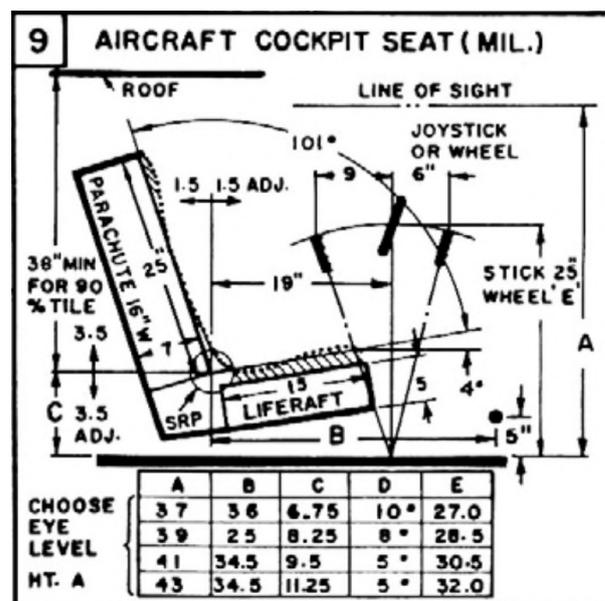


Figura 98 – Dimensões teóricas da poltrona do cockpit. Fonte: (DREYFUSS, 1966).

Esta poltrona também possui um design ergonômico com curvatura na lombar e nas nádegas, como na poltrona anterior. Ela também possui o reclino e ajuste do encosto da cabeça. Uma especificidade dela é que necessita de um rasgo no assento. Esse rasgo tem 4 polegadas (101,6 mm) de largura e profundidade e possibilita conseguir puxar o manche.



Figura 100 – Dimensões teóricas da poltrona do cockpit. Fonte: (DREYFUSS, 1966).

## 7.3 As seções

Durante o passeio nas seções da aeronave, será utilizado um manequim percentil 50 chamado José. Ele possui 1,755 metros de altura. Ele e outros manequins serão melhor apresentados mais a frente. Na Figura 101 está esquematizado as zonas da cabine. Cada seção será melhor apresentada a seguir.



Figura 101 – Cabine vista de cima com as demarcações. Fonte: Do Autor.

### 7.3.1 Cockpit

A entrada do cockpit mostrada na Figura 102 possui uma poltrona de descanso da tripulação sem TV. A divisória entre a cabine e o local aonde os pilotos trabalham é feita por uma porta por questões de segurança. Já a Figura 103 mostra uma esquematização simplificada do cockpit da aeronave conceito, sem os inúmeros botões e somente algumas principais telas de navegação e rádio.



Figura 102 – Entrada do cockpit.

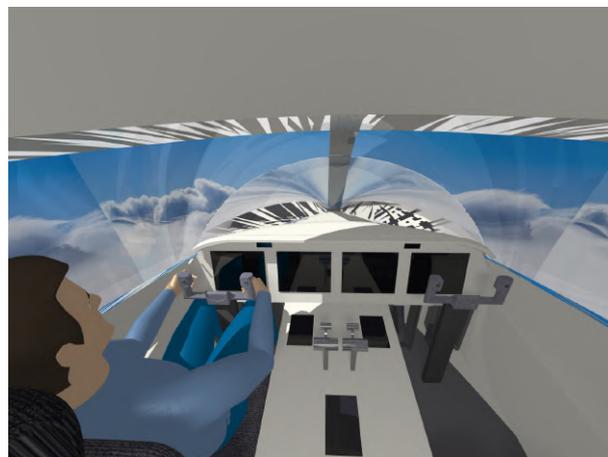


Figura 103 – Vista do cockpit.

Especificamente nessa seção, foi colocado um manequim percentil 95 justamente para mostrar o real espaço da cabine. Claro que para percentis menores, principalmente o 5, a poltrona seria ajustada. A análise de conforto e mobilidade será feita mais a frente.

### 7.3.2 Galley

A *galley* da aeronave é bem equipada. Como visto na Figura 104, possui um compartimento superior com portas de correr com travas para guardar utensílios desejados com segurança. Ao lado esquerdo, está localizado o forno micro-ondas e abaixo dele, o forno convencional. No meio possui uma tela sensível ao toque, na qual é possível controlar as luzes da cabine, acessar receitas, manuais de como utilizar os equipamentos da *galley*, controlar o sistema de som e acessar dados do voo. Ao lado direito da cozinha, se encontra a máquina de café com a pia com torneiro. Logo abaixo se localiza um armazenamento gelado para produtos frios. É possível perceber que um homem percentil 50 consegue acessar tranquilamente a pia e conseqüentemente as outras partes da *galley*. Na Figura 106



Figura 104 – Manequim percentil 50 na galley



Figura 105 – Manequim percentil 50 na pia da galley

é mostrada o banheiro dianteiro que se localiza na frente da *galley*. Nessa representação, o banheiro está sem as paredes e porta, para melhor visualização e é a 1ª versão do banheiro dianteiro. Como o cômodo possui um espaço bem reduzido, o autor considerou refazer a pia para um modelo em formato triangular, ganhando mais espaço no canto da parede e melhorando a passagem pela porta. O manequim percentil 50 se encontra sentado no vaso sanitário e na sua frente possui uma pia com torneira, na qual abaixo possui uma porta com armazenamento para lixo e outros produtos de higiene.



Figura 106 – Manequim percentil 50 no vaso sanitário do banheiro dianteiro na versão 1.



Figura 107 – Manequim percentil 50 no vaso sanitário do banheiro dianteiro na versão 2.

### 7.3.3 Seção 1 da cabine

A primeira seção da cabine possui 4 poltronas reclináveis, 2 mesas simples, 4 controles sensíveis ao toque com entrada de fone, suportes de copo no *side ledge* e 4 TVs com resolução 4K.

As poltronas dessa seção são todas reclináveis em 180º como visto na Figura 108. O reclino pode ser feito de forma fácil na tela de controle lateral da poltrona. Porém, é observado que nessa configuração, os pés do manequim percentil 95 ultrapassa a poltrona e o espaço ficaria pequeno para 2 homens de grande estatura.

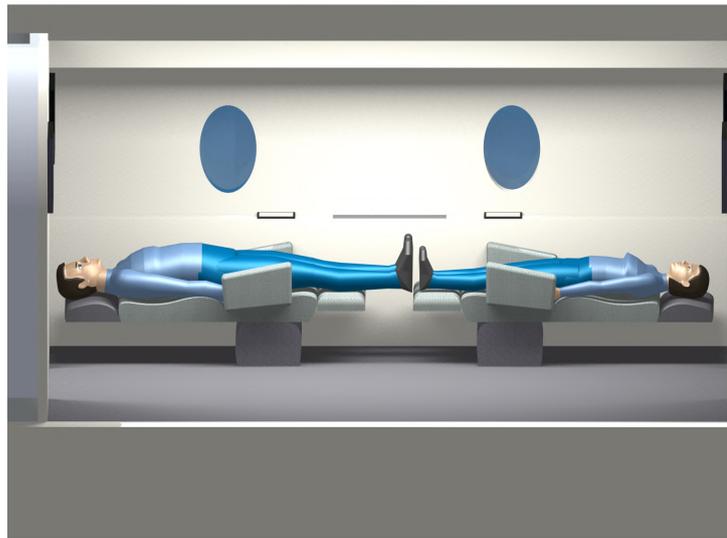


Figura 108 – Manequim percentil 5 e 95 deitados na poltrona na 1<sup>a</sup> versão.

Nesse sentido, foi criada uma segunda versão da poltrona, com mais um prolongamento nos pés, como apresentado no início do capítulo e um aumento no comprimento da seção em aproximadamente 8 polegadas (204 mm). Assim, nessa nova configuração, é possível colocar 2 pessoas de alta estatura deitados como na Figura 109.



Figura 109 – Dois manequins percentis 95 deitados nas poltronas da seção 1 na versão 2.

O controle digital localizado na lateral da poltrona mostrado na Figura 110 pode ser utilizado para acessar aplicativos de *streaming* e colocá-los na televisão. Também é possível colocar música, trocar a iluminação da cabine ou a luz da sua poltrona, alterar a luminosidade da janela, mudar a posição do banco e é possível conectar o fone de ouvido para ter uma experiência individual.

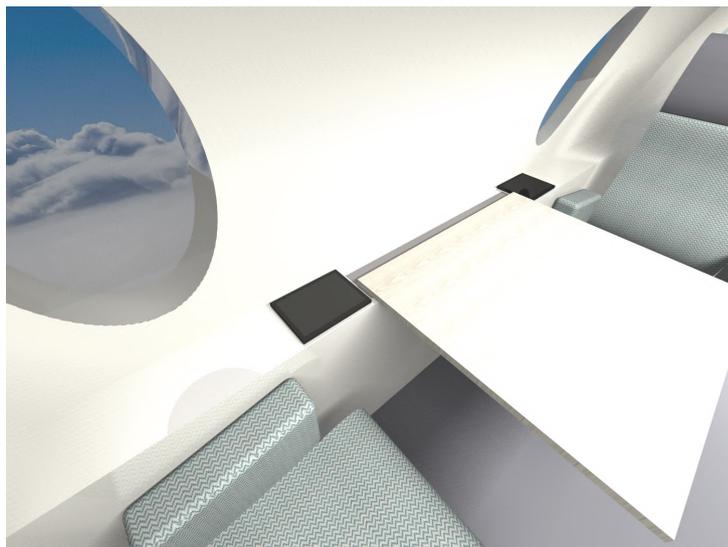


Figura 110 – Controle lateral sensível ao toque.

A TV fica localizada na frente da poltrona e sua visão fica limpa mesmo com uma poltrona à sua frente. Isso vale para todas as 4 poltronas dessa seção, como exemplo na Figura 111.

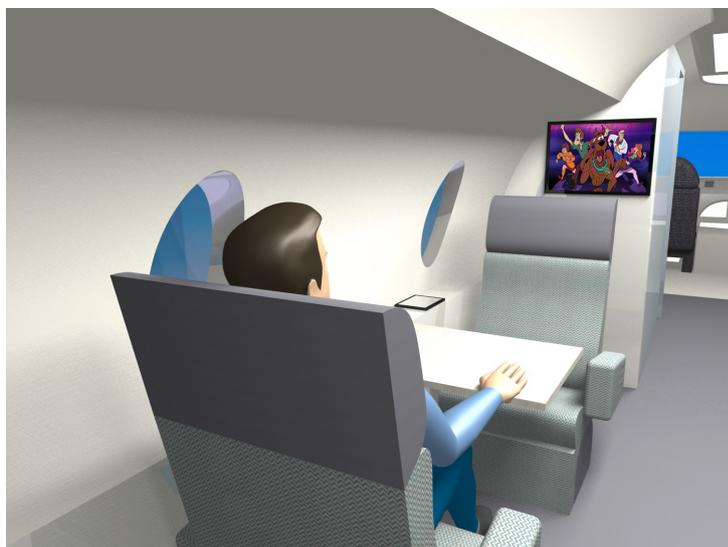


Figura 111 – Manequim percentil 50 e sua vista para a TV.

A mesa entre as poltronas possui um bom espaço que pode ser utilizado, inclusive, para fazer as refeições do dia, como visto nas Figuras 112 e 113. Para maior conforto, as poltronas podem ser levadas para frente para ter um melhor alcance na mesa. Porém, para que seja possível recliná-la, é preciso retorná-la para a posição inicial. Como forma de maior conveniência, as mesas podem ser recolhidas facilmente dobrando-as e empurrando-as para dentro do compartimento no *side ledge*, como mostrado na Figura 114.

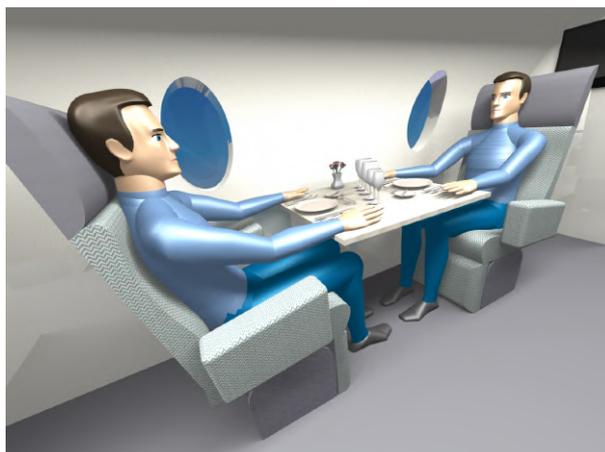


Figura 112 – Mesa com louças de jantar visão.

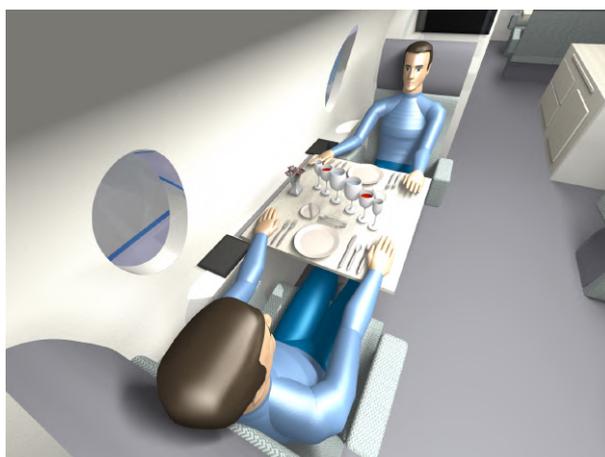


Figura 113 – Mesa com louças de jantar visão.



Figura 114 – Manequim percentil 50 recolhendo a mesa. Fonte: Do Autor

### 7.3.4 Seção 2 da cabine

Na 2ª seção da cabine a luminosidade é um pouco menor por ser um setor com um ideal mais de “sala de estar” de uma casa. Nela estão dispostos um divã, um aparador e 2 TVs menores. O divã possui capacidade para 3 pessoas como visto na Figura 115, além de ter entrada para copos e o controle sensível ao toque.

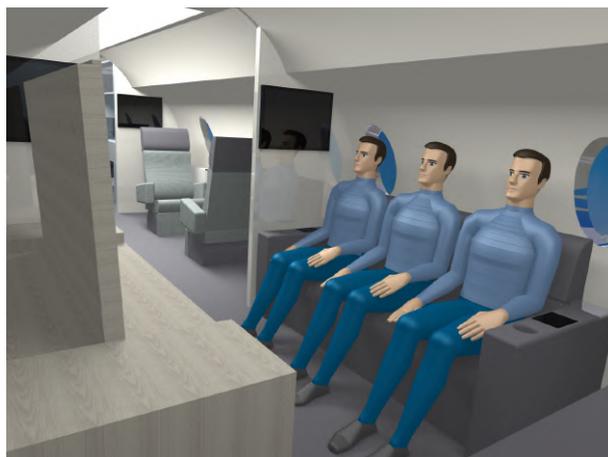


Figura 115 – 3 manequins percentis 50 sentados no divã assistindo TV. Fonte: Do Autor

No aparador fica acoplado a maior TV da cabine. Uma grande vantagem dela é que ela pode ser ocultada facilmente caso nenhum passageiro deseje utilizá-la, como visto na Figura 117. Basta empurrá-la para baixo, caso queira ocultá-la ou puxar pra cima, caso queira assistir algo. No aparador também estão localizadas 2 gavetas para armazenamento diverso que pode ser trancada para dar mais segurança e uma adega para bebidas e vinhos.



Figura 116 – Manequim percentil 50 sentado no divã assistindo TV. Fonte: Do Autor



Figura 117 – Aparador da seção 2 da cabine. Fonte: Do Autor

### 7.3.5 Seção 3 da cabine

Na próxima seção da cabine, estão dispostos 2 poltronas individuais, 2 poltronas de jantar dupla, 2 TVs menores, 2 mesas simples, além de suportes de copos e 4 controles, ambos *touchscreen* no *sidebar*. A disposição das poltronas individuais segue o mesmo da 1ª seção e aqui também é possível o reclino de 180°, porém, só de um lado por conta da saída de emergência que será apresentado mais a frente.



Figura 118 – Manequim percentil 50 sentado na poltrona da 3ª seção. Fonte: Do Autor

Na mesa de jantar, cabem 4 pessoas dispostas de 2 em 2 como mostrado na Figura 119 e consegue comportar tranquilamente 4 jogos de jantar. As poltronas conseguem reclinar independentes entre si. Porém, as que estão do lado da saída de emergência possui uma limitação. Existem controles da cabine apenas do lado direito. Quem está sentado na poltrona de jantar dupla também pode aproveitar o entretenimento com TVs dos dois lados como nas outras seções. Diferentemente das outras mesas da aeronave, esta

não recolhe por ter dimensões maiores e também por esta área ser pensada em ser uma sala de jantar como de uma casa.

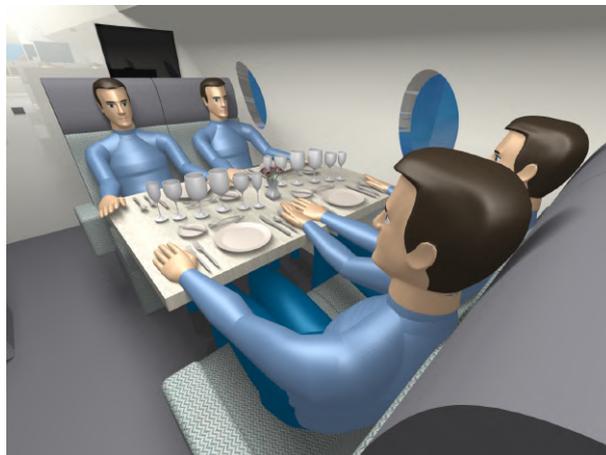


Figura 119 – 4 manequins percentis 50 sentados nas poltronas de jantar dupla da 3<sup>a</sup> seção.  
Fonte: Do Autor

### 7.3.6 Banheiro traseiro

Atrás da 3<sup>a</sup> seção, possui um banheiro. Ele é maior do que o dianteiro e possui uma pia com torneira, box com chuveiro e vaso sanitário. Abaixo da pia, possui um armazenamento de utensílios de higiene e espaço para lixo.



Figura 120 – Manequim percentil 50 utilizando a pia do banheiro traseiro. Fonte: Do Autor

Como visto na Figura 121, o box de banho é de vidro e cabe tranquilamente uma pessoa adulta. O chuveiro fica acima da cabeça.



Figura 121 – Manequim percentil 50 dentro do box do banheiro traseiro. Fonte: Do Autor

## 7.4 Análise de conforto

Para análise de conforto, será utilizado 3 manequins de diferentes estaturas. O Manoel com percentil 95 e com isso ele é de estatura alta com 1,865 metros de altura, José com percentil 50, tendo estatura média<sup>1</sup> com 1,755 metros de altura e a Ana com percentil 5, sendo de estatura baixa com 1,524 metros. Porém, como mostrado na Tabela 19, a estatura média de homens e mulheres se assemelham mais ao da Ana e principalmente o do José. Logo, a comparação mais fidedigna será através deles e não do Manoel. Entretanto, é interessante entender como uma pessoa de estatura maior pode se comportar sentado e deitado na poltrona.

Tabela 19 – Estatura média de homens e mulheres.

	Mulheres	Homens
<b>Estatura média (mm)</b>	1616	1739

Fonte: (ELBERT HENRIKE B. KROEMER, 2018).

<sup>1</sup>Estatura baseada em pessoas da população russa, chinesa e dos Estados Unidos.

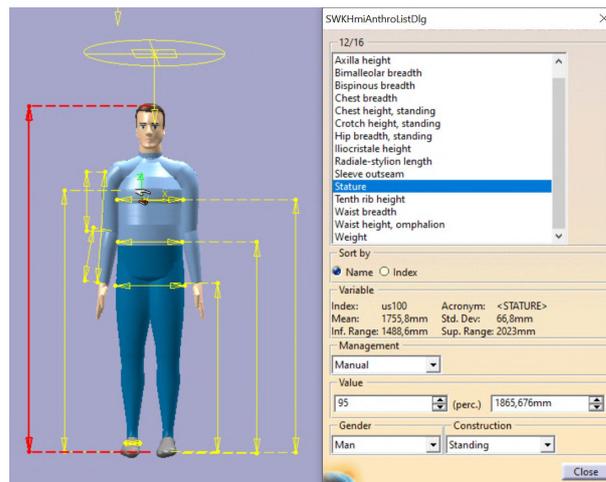


Figura 122 – Estatura manequim com percentil 95. Fonte: Do Autor

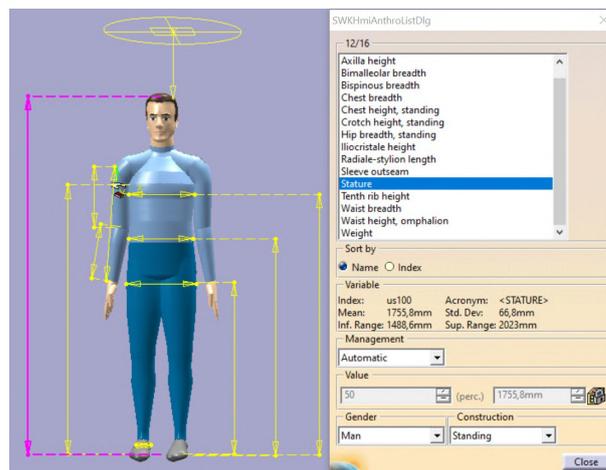


Figura 123 – Estatura manequim com percentil 50. Fonte: Do Autor

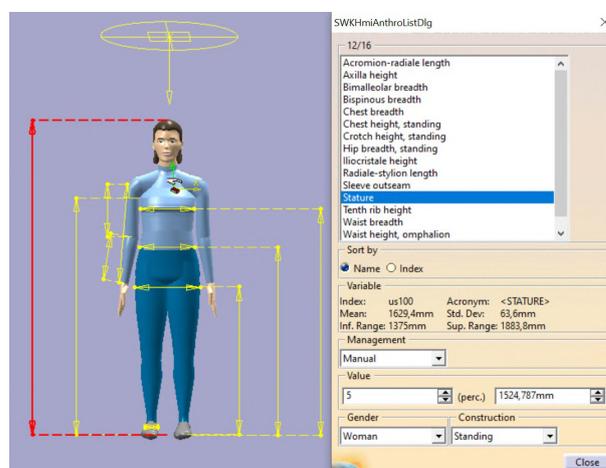


Figura 124 – Estatura manequim com estatura 5. Fonte: Do Autor



Figura 125 – Homem percentil 50 sentado na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor

### 7.4.1 Análise do RULA

A Avaliação Rápida dos Membros Superiores (RULA) é uma técnica simples utilizada para coletar informações com o objetivo de realizar investigações ergonômicas em locais diversos que apresentem potencial para causar distúrbios musculoesqueléticos. O principal propósito desse método é investigar a exposição a fatores de risco que as pessoas enfrentam durante a realização de suas atividades. O método utiliza diagramas das posturas corporais e três escores, que permitem a avaliação da exposição a esses fatores de risco (PAIM DANIELE PERAÇA, 2016).

A análise será feita com a postura intermitente, essa opção do *CATIA v5* é para quando a pessoa se movimenta em certa frequência, o que é comum de um ser humano dentro de uma aeronave. Será feita análise RULA do manequim sentado e deitado.

A avaliação será realizada nas 2 versões da poltrona e será mostrado as vantagens da 2ª versão (atual), se houver.

Com o homem percentil 50 sentado na poltrona da 1ª versão, é possível observar na Figura 125 que os pés alcançam o chão, porém, com uma maior amplitude, tendo que esticar mais as pernas. Isso já é melhorado na poltrona da 2ª versão esquematizado na Figura 127 em que os pés do manequim tocam o chão, porém, sem a necessidade de esticar as pernas. Comparando o RULA presentes nas Figuras 126 e 128 é visto que a poltrona da 2ª versão atinge uma nota melhor no *score*, isso porque devido a curta profundidade do assento do 1º modelo, o punho não fica apoiado e isso já não acontece na versão atual. Logo, para o manequim percentil 50, o segundo protótipo é ligeiramente melhor. Com a mulher percentil 5 sentada, é possível observar nas Figuras 129 e 131 que ela só alcança o chão com as pontas dos pés. Isso poderia ser resolvido com alguma elevação colocada no chão. De acordo com as Figuras 130 e 132, ela está relativamente confortável na poltrona. Para essa estatura, não houve diferença entre os modelos antigo e novo da poltrona.

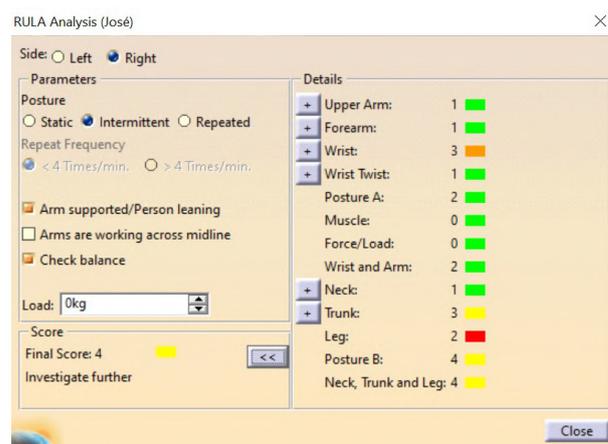


Figura 126 – Análise do RULA do homem percentil 50 sentado na poltrona da 1ª versão.  
Fonte: Do Autor

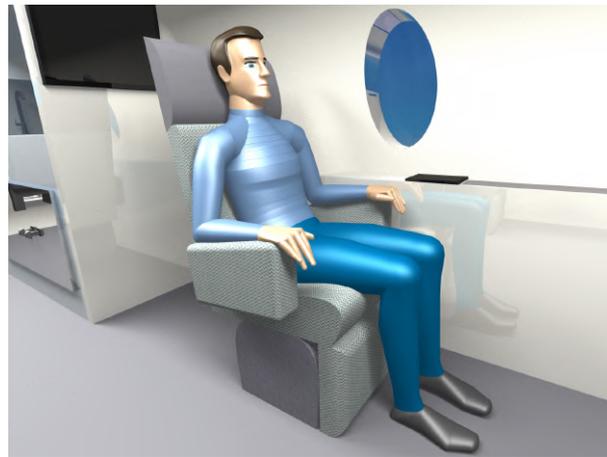


Figura 127 – Homem percentil 50 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

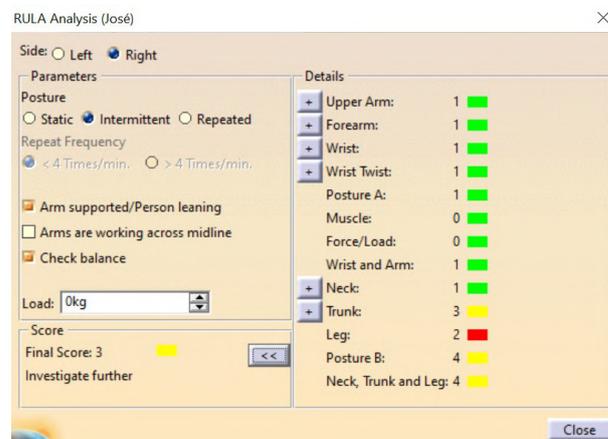


Figura 128 – Análise do RULA do homem percentil 50 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor



Figura 129 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor

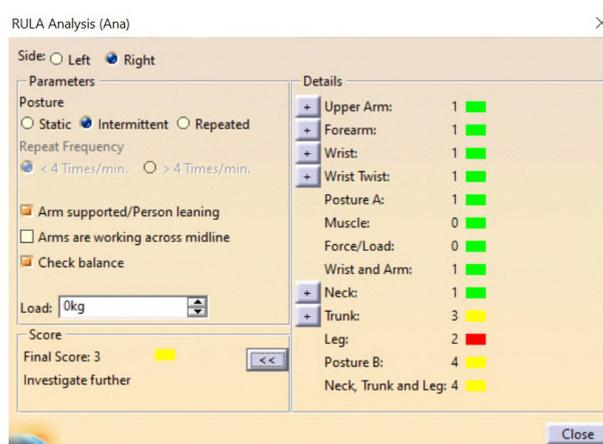


Figura 130 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor



Figura 131 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

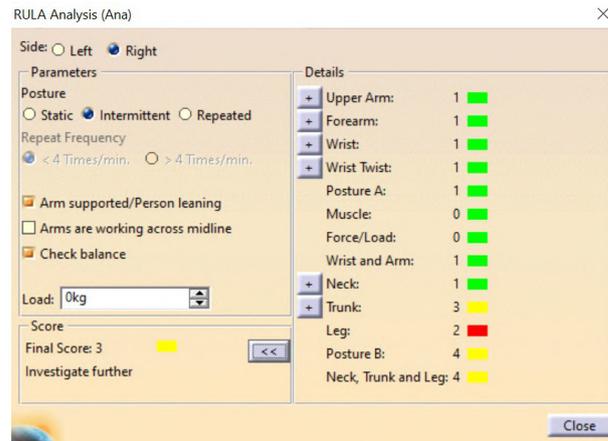


Figura 132 – Mulher percentil 5 sentada na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

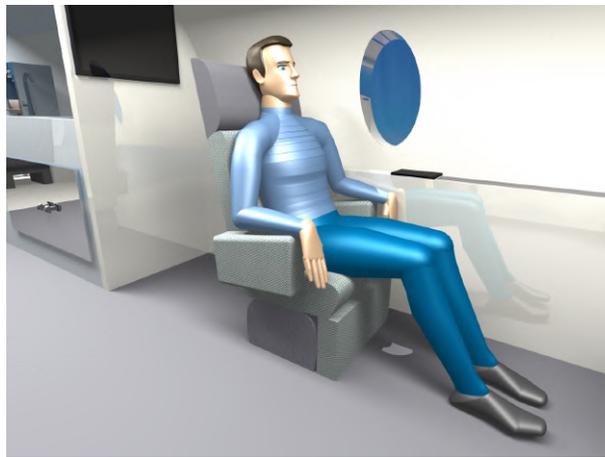


Figura 133 – Homem percentil 95 sentado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor

Com o homem de estatura alta, percentil 95, ele consegue tocar os pés no chão na 1ª versão da poltrona como visto na Figura 133, porém, precisa esticar as pernas muito pra frente. Isso é bastante amenizado no 2º modelo da Figura 135. Fazendo a análise em relação ao RULA nas Figuras 134 e 136 é perceptível que na antiga poltrona os braços e punhos do manequim ficam mais desconfortáveis em relação a atual versão. Por esses motivos, a cadeira atual possui vantagens para pessoas de alta estatura. Em relação à análise com a poltrona no sentido deitada, é possível perceber que na poltrona antiga da Figura 137 que o manequim com percentil 50 fica com os pés para fora, e isso pode ser incômodo para muitas pessoas e pode fazer com que a perna desça e caia da poltrona. Assim, a 2ª versão da poltrona traz uma extensão de perna como na Figura 139, já apresentada no início do Capítulo, mas que aqui faz todo o sentido pelo contexto. A análise RULA para a posição deitada não tem grandes diferenças em relação aos 2 modelos da poltrona, apenas algumas leves melhoras na postura e no tronco. Para ficar nesta posição, é recomendável que a mesa fique recolhida, para que a perna não bata nela com os movimentos do corpo e nem para que alguém saia machucado.

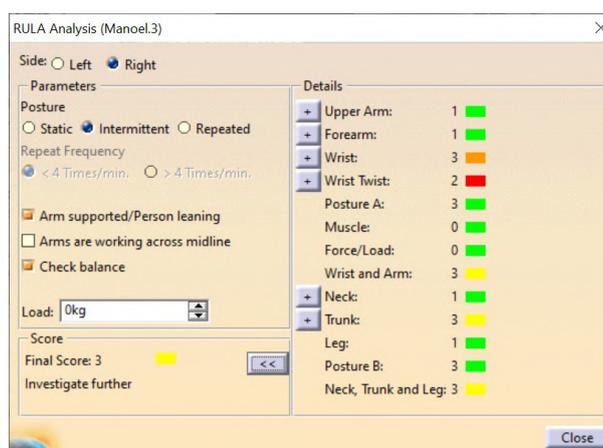


Figura 134 – Homem percentil 95 sentado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor

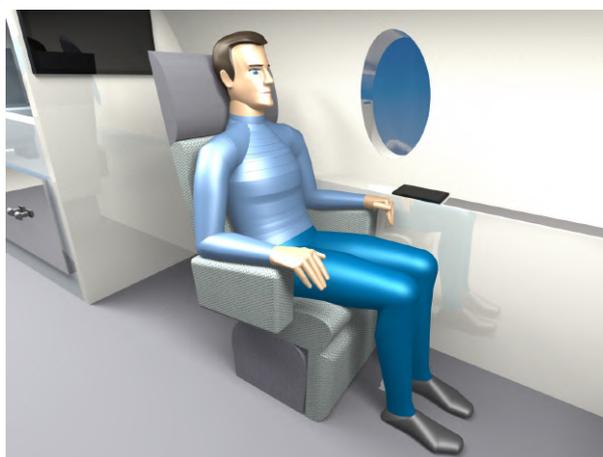


Figura 135 – Homem percentil 95 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

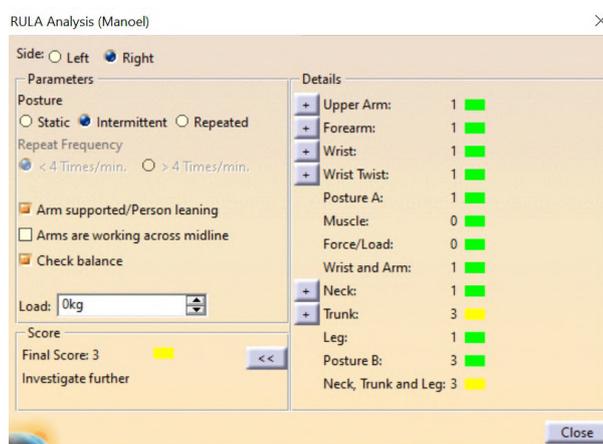


Figura 136 – Homem percentil 95 sentado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

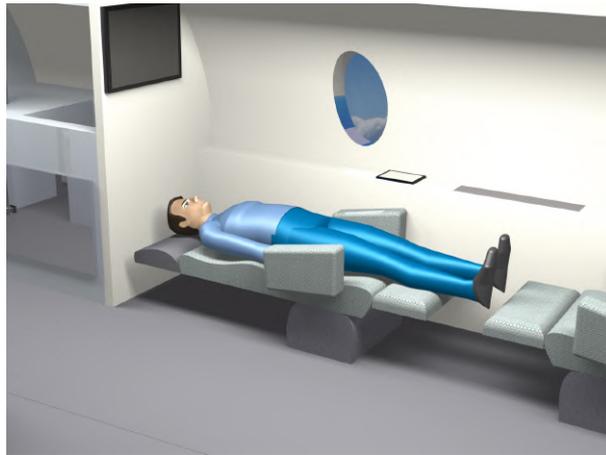


Figura 137 – Homem percentil 50 deitado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor

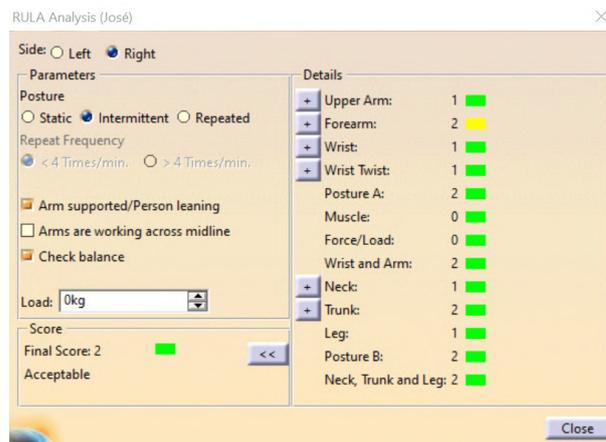


Figura 138 – RULA do Homem percentil 50 deitado na poltrona da 1ª versão. Fonte: Do Autor



Figura 139 – Homem percentil 50 deitado na poltrona da 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

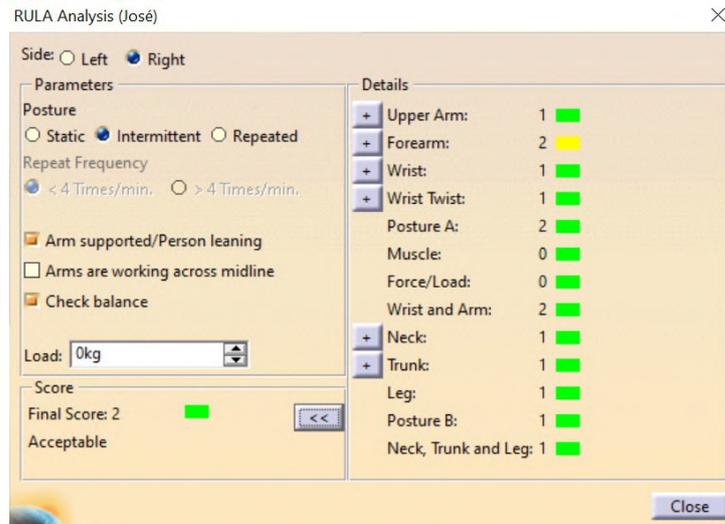


Figura 140 – RULA do Homem percentil 50 deitado na poltrona da 2ª versão (atual).  
Fonte: Do Autor

No caso da mulher com percentil 5, há uma sobra em relação dos pés até o fim da poltrona já no 1º modelo, isso pode ser observado na Figura 141. Por isso, para essa estatura não há novidades no protótipo atual. Na sua análise de RULA, vista na 2ª versão da Figura 144, ela está amplamente confortável.



Figura 141 – Mulher percentil 5 deitada na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor

Por fim, com o manequim percentil 95 deitado no 1º modelo é possível observar que os pés estão ainda mais pra fora em relação ao percentil 50, como mostrado na Figura 145, essa questão foi resolvida com a mesma solução anteriormente dita para o percentil 50. É possível ver que ele está numa posição relativamente confortável.

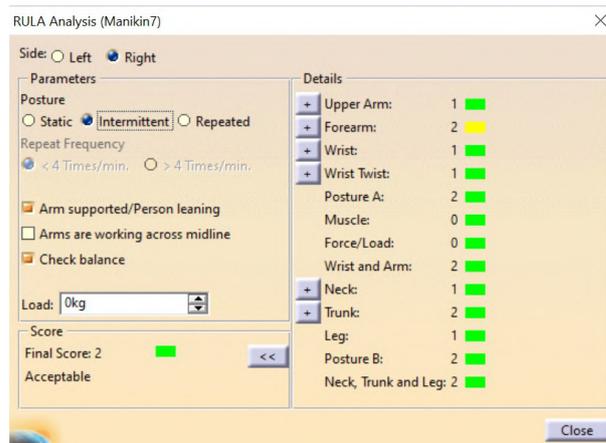


Figura 142 – Mulher percentil 5 deitada na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor

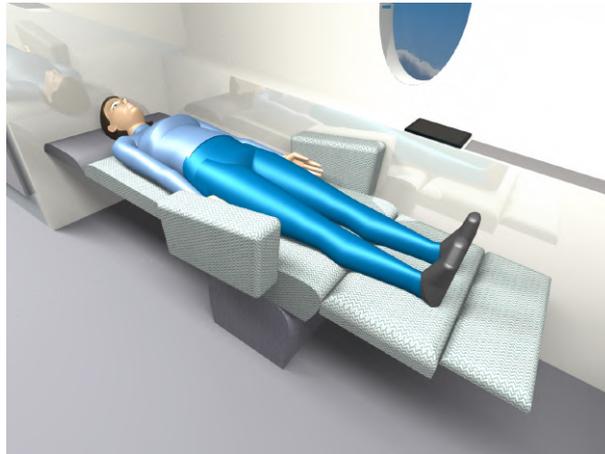


Figura 143 – Mulher percentil 5 deitada na poltrona da 2ª versão (atua). Fonte: Do Autor

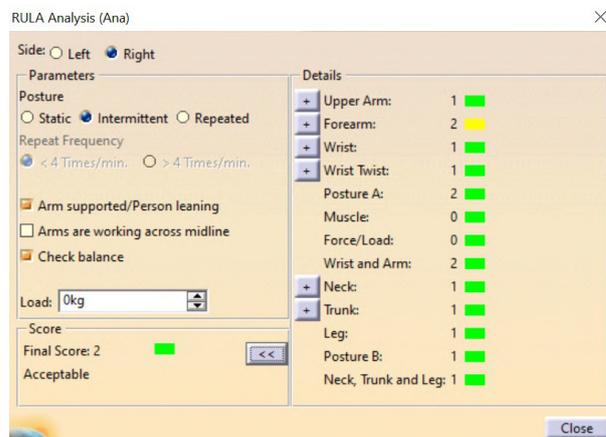


Figura 144 – RULA da mulher percentil 5 deitada na poltrona da 2ª versão (atua). Fonte: Do Autor



Figura 145 – Homem percentil 95 deitado na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor

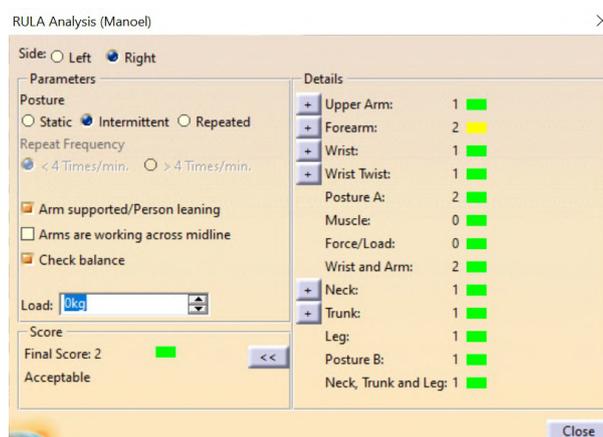


Figura 146 – RULA do homem percentil 95 deitado na poltrona na 1ª versão. Fonte: Do Autor

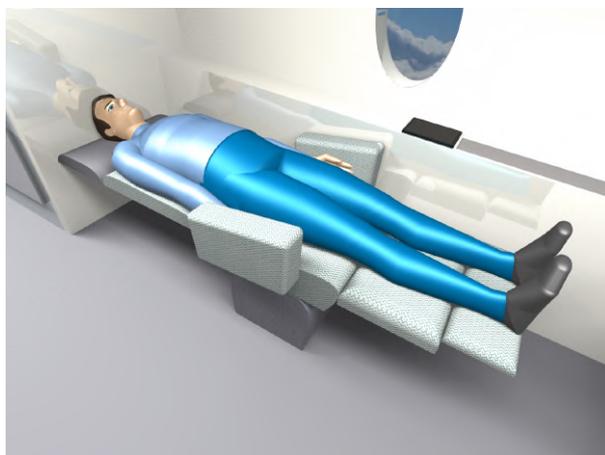


Figura 147 – Homem percentil 95 deitado na poltrona na 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

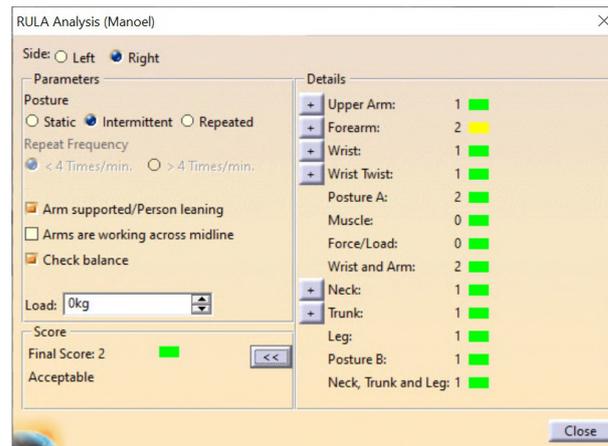


Figura 148 – Rula do homem percentil 95 deitado na poltrona na 2ª versão (atual). Fonte: Do Autor

De modo geral, a poltrona nova traz mais vantagens no conforto, principalmente para o percentil 50 e 95.

## 7.4.2 Cockpit

Como piloto, as ações mais comuns a serem realizadas são as pegadas no manche e na manete de potência. Por isso, é interessante analisar o conforto nessas posições. Será utilizado o percentil 95, que teoricamente ficará mais apertado no *cockpit*.

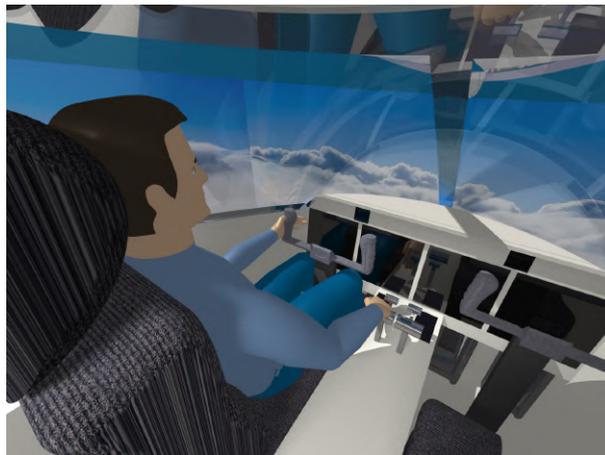


Figura 149 – Homem percentil 95 com as mãos na manete e manche. Fonte: Do Autor

Na análise de conforto da Figura 150, é percebido que nessa posição, o manequim precisa esticar mais o braço (não de forma completa), mantendo ainda um pouco da flexão do cotovelo. Assim, atingiu pontuações boas em relação às mãos e punho. Em relação ao manequim segurando com as duas mãos o manche, percebe-se na Figura 152 que o manequim apresenta um conforto relativo e uma boa pontuação no punho e mão.

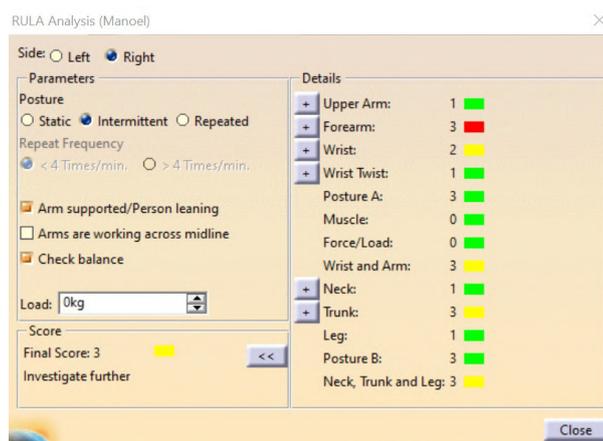


Figura 150 – RULA do homem percentil 95 com as mãos na manete e manche. Fonte: Do Autor



Figura 151 – Homem percentil 95 com as mãos no manche. Fonte: Do Autor

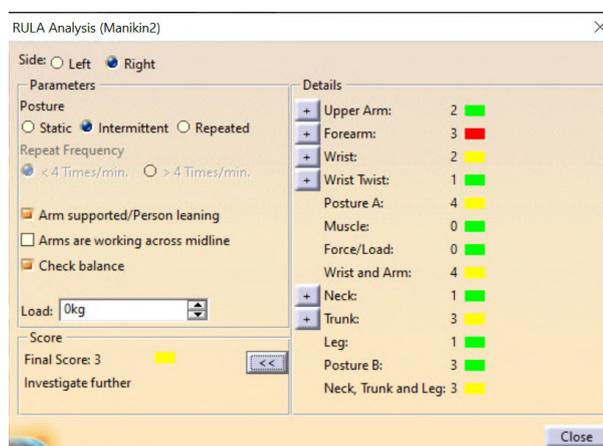


Figura 152 – RULA do homem percentil 95 com as mãos no manche. Fonte: Do Autor

### 7.4.3 Mobilidade

Para que se tenha uma análise que tente abarcar o máximo de pessoas possível, será utilizado o manequim percentil 95. É sabido, como mostrado anteriormente, que o percentil 50 é uma boa média da população global, mas se a análise para o percentil 95 for satisfatório, praticamente todo o resto será.

Uma primeira análise simples de mobilidade é sobre a altura. É interessante saber se uma pessoa de mobilidade alta consegue perfilar dentro da cabine da aeronave conceito sem tocar a cabeça no teto.

Daqui em diante, o manequim fará um “passeio” por dentro das seções da aeronave para mostrar a distância da cabeça até o teto. As figuras seguintes até a seção 3, possuem praticamente uma distância constante, o que pode ter é uma leve variação devido à luminária.



Figura 153 – Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da galley. Fonte: Do Autor

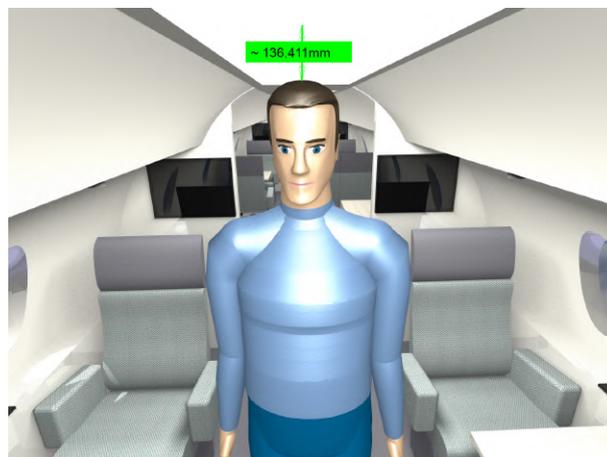


Figura 154 – Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da seção 1. Fonte: Do Autor



Figura 156 – Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da seção 3. Fonte: Do Autor



Figura 155 – Distância da cabeça do percentil 95 até o teto da seção 2. Fonte: Do Autor

Na seção 3 da Figura 156, a altura do teto diminui por conta do afilamento do corredor que faz com que o passageiro ande mais para esquerda da cabine, fazendo com que o teto diminua a sua altura. O mesmo acontece no lavatório da Figura 157. Em relação à mobilidade do manequim sentado, é visto que possui bastante espaço para movimentação, como mostrado nas Figuras 158 e 159. As pernas conseguem se mover tranquilamente em todas as direções e com folga. Quando se sentam 2 pessoas de grande estatura uma de frente da outra, como na Figura 160, é possível manter as pernas de forma neutra, porém, com aperto. Nesse caso, foi feita uma versão 2 já apresentada anteriormente com a readaptação da poltrona e com aumento da seção. Assim, o espaço entre as pernas será maior, garantido mais conforto como mostrado na Figura 161.



Figura 157 – Distância da cabeça do percentil 95 até o teto do banheiro. Fonte: Do Autor

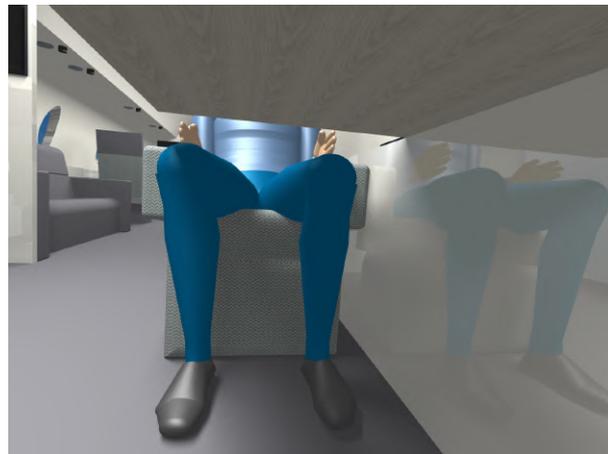


Figura 158 – Distância máxima das pernas abertas de um manequim percentil 95 sentado. Fonte: Do Autor

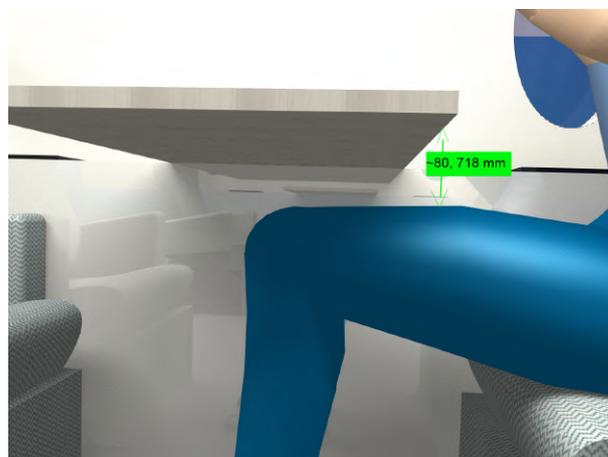


Figura 159 – Distância das pernas até a mesa de um manequim percentil 95 sentado. Fonte: Do Autor

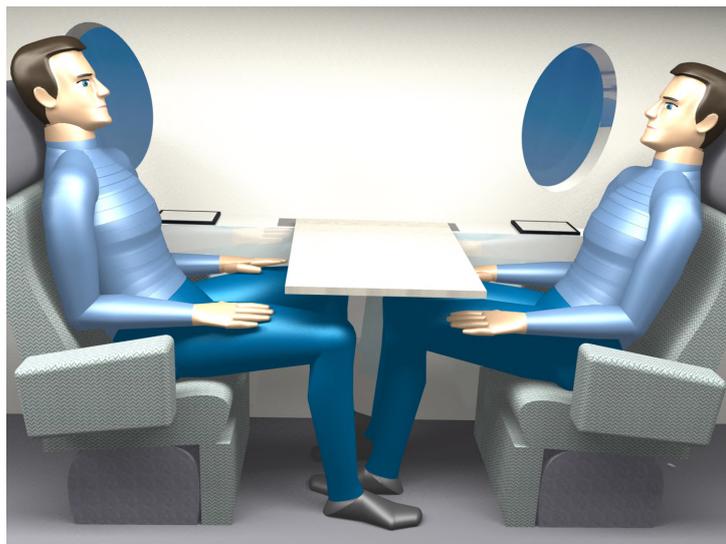


Figura 160 – Duas pessoas percentil 95 sentadas uma de frente para outra na versão anterior. Fonte: Do Autor



Figura 161 – Duas pessoas percentil 95 sentadas uma de frente para outra na versão 2 (nova). Fonte: Do Autor

Durante o voo, o passageiro normalmente faz suas atividades sentado. Então é interessante analisar a bolha de alcance das mãos dessa pessoa. A Figura 162 mostra que a mão direita do manequim é mais limitado, conseguindo atingir apenas uma pequena parcela do teto (acima do corpo) e uma parcela da janela.

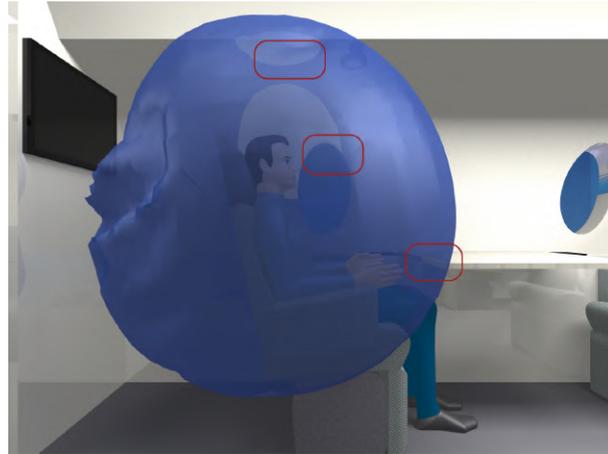


Figura 162 – Envelope da mão direita do manequim percentil 50 sentado. Fonte: Do Autor

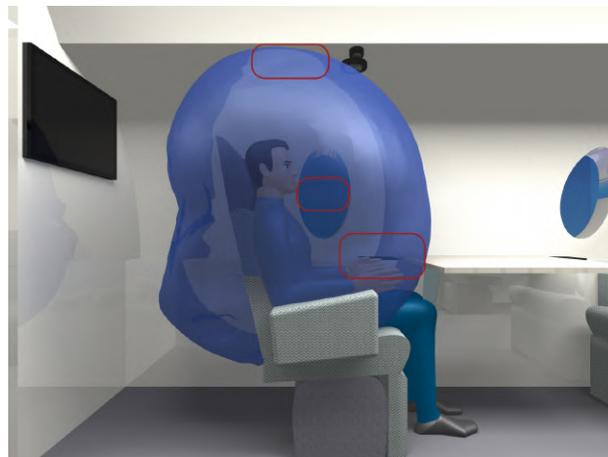


Figura 163 – Envelope da mão esquerda do manequim percentil 50 sentado. Fonte: Do Autor

Já a mão esquerda da Figura 163, consegue ter um maior alcance do *side ledge*, incluindo o controle. Ambas as mãos só conseguem alcançar a ponta da mesa e isso pode ser resolvido apenas com a colocação da poltrona mais para frente. Elas também não alcançam a luz e ar condicionado superior na posição inicial e somente se chegarem a poltrona para frente, por isso, existe uma opção de iluminação secundária que será mostrado mais pra frente. É interessante considerar que esse envelope considera o manequim na mesma posição em que está na foto. Possivelmente ele conseguiria alcançar algum objeto fora do envelope, mas, para isso, ele teria que sair da sua posição inicial. Os pontos de interesse como teto, janela, controle e mesa são identificados na figura quando eles conseguem alcançar. Em relação ao cockpit, alguns aspectos de mobilidade precisam ser vistos. O primeiro deles é o envelope de alcance das mãos do piloto, visto na Figura 164 e 165. É possível ver que a mão direita alcança tranquilamente tanto a manete de potência, quanto o manche. Porém, para alcançar botões do painel da frente ou em alguns lugares do meio, o manequim teria que retirar as costas do encosto da poltrona. A visibilidade externa a

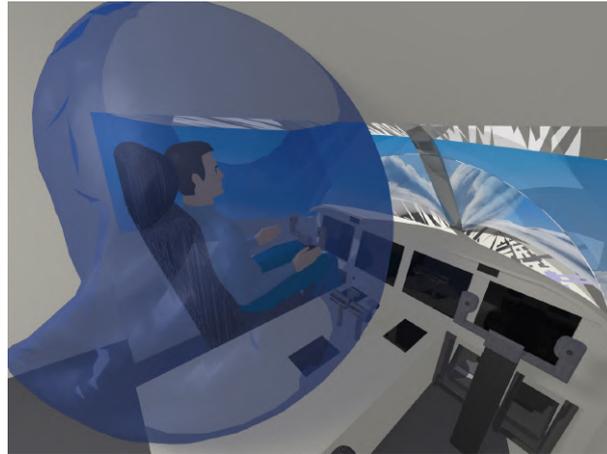


Figura 164 – Bola de alcance mão direita do manequim visto de fora da bolha. Fonte: Do Autor



Figura 165 – Bola de alcance mão direita do manequim visto dentro da bolha. Fonte: Do Autor

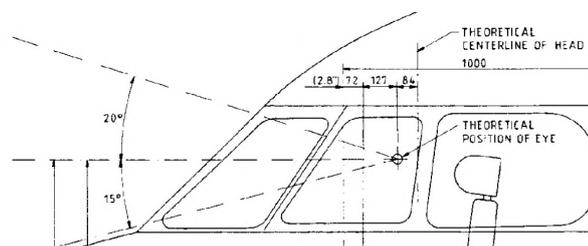


Figura 166 – Cone de visão teórico do piloto através da janela. Fonte: Adaptado do (ROSKAM, 1985).

partir do cockpit é muito importante. Por isso, é interessante que o piloto tenha um cone de visão vertical como ilustrado na Figura 166. Em relação envelope de visão horizontal do cockpit, a Figura 168 ilustra valores interessantes de angulação em relação à janela da direita e esquerda e a figura logo em seguida mostra que a aeronave conceito consegue superar esses valores.

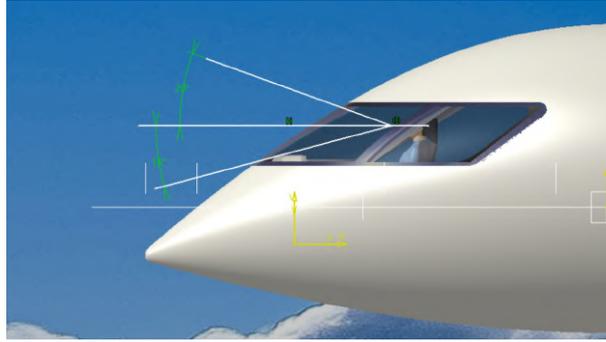


Figura 167 – Cone de visão do piloto através da janela. Fonte: Do Autor

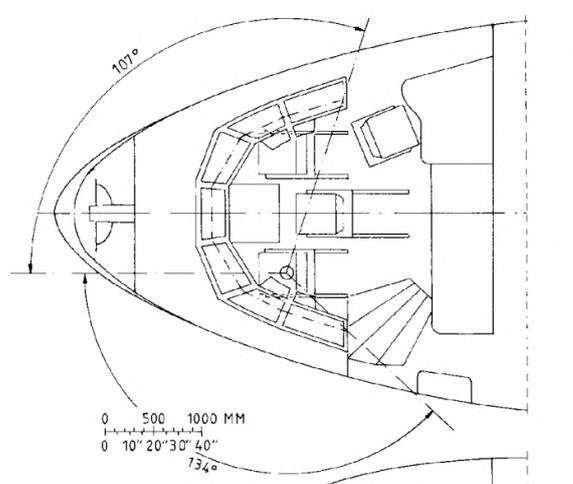


Figura 168 – Alcance de visão horizontal teórico aproximado. Fonte: (ROSKAM, 1985)

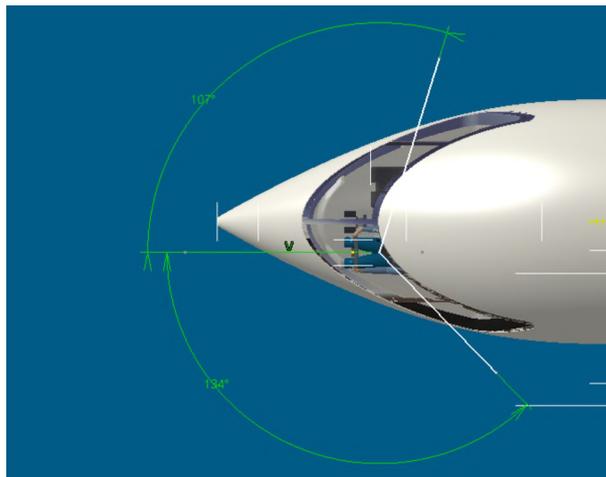


Figura 169 – Alcance de visão horizontal do cockpit da aeronave conceito. Fonte: Do Autor

Outra análise interessante de mobilidade dentro do cockpit utilizando o percentil 95 (que possui pernas mais largas), é em relação ao manche. É sabido que uma das suas funções é arfar a aeronave. E para isso, é preciso que o piloto puxe ou empurre o manche.

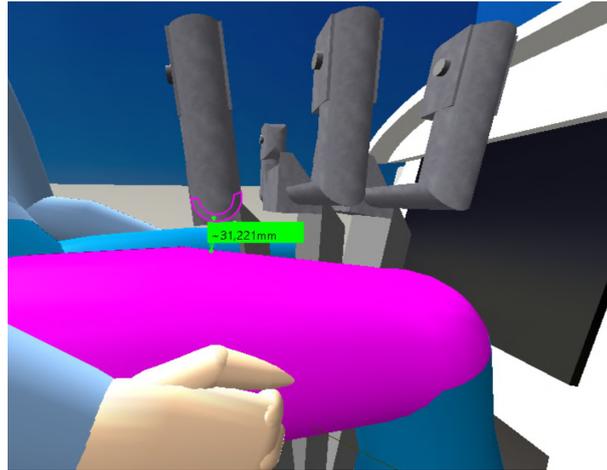


Figura 171 – Distância da perna até o manche quando puxa totalmente. Fonte: Do Autor

A Figura 98 ilustra bem o intervalo de movimento teórico do manche. Essas angulações foram colocadas na aeronave conceito (Figura 170) e a partir disso, será possível analisar a mobilidade.



Figura 170 – Angulações do manche. Fonte: Do Autor adaptado do (DREYFUSS, 1966).

É perceptível nas Figuras 171, 172 e 173 que quando o manche é puxado totalmente, ele fica mais perto da perna, diminuindo a mobilidade, porém, ainda, sim, é possível movimentar a perna. Na posição neutra, que é a que estará a maior parte do voo, a distância do manche até a perna do piloto é cerca de 52 mm. Indo para a entrada do cockpit, a poltrona simples para a tripulação possui um espaço menor que as demais da cabine. A Figura 175 mostra que para um percentil 95, ainda sobra 57 mm do pé até a parede a frente. De fato é pouco, porém, a ideia dessa poltrona não é para uso do passageiro e nem no voo inteiro e sim para pausas rápidas das tripulações, salvo exceções.

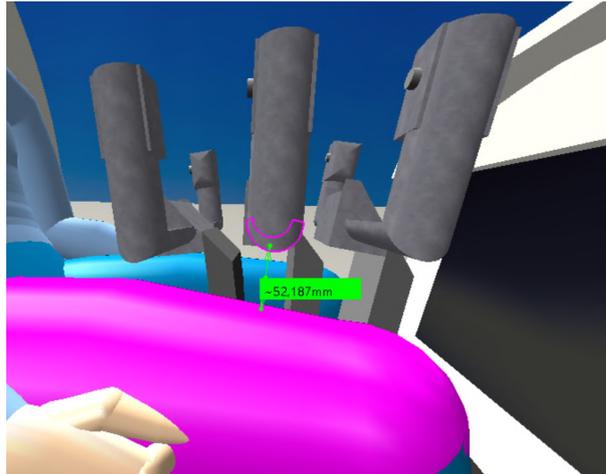


Figura 172 – Distância da perna até o manche na posição neutra. Fonte: Do Autor

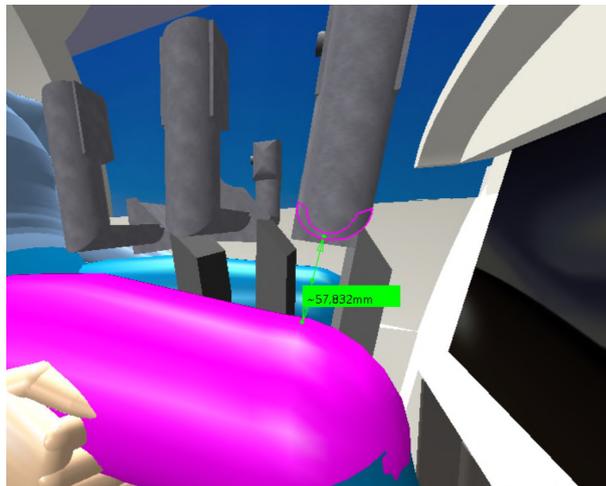


Figura 173 – Distância da perna até o manche quando empurra totalmente. Fonte: Do Autor



Figura 174 – Poltrona da entrada do cockpit. Fonte: Do Autor

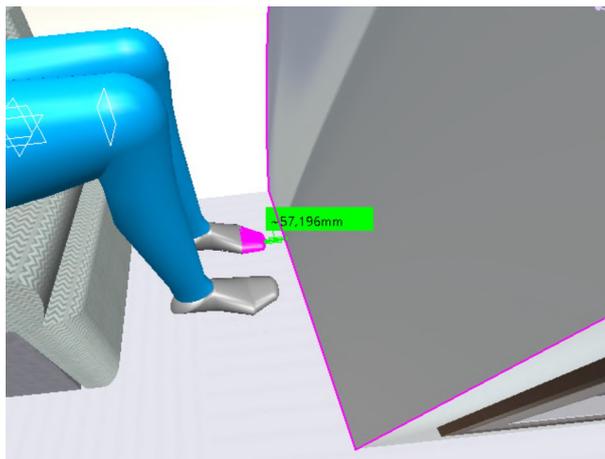


Figura 175 – Distância da perna a parede da frente na poltrona da entrada do cockpit.

## 7.5 Obrigatoriedades emergenciais

Uma característica importante na aeronave é que todos os assentos podem ser usados como boias. Essa característica visa ajudar em pousos na água. Logo, aonde tiver uma poltrona, possui uma boia.

Uma das exigências para caso atípicos são as saídas de emergência. Cada saída de emergência exigida para os passageiros deve ser posicionada de maneira que garanta fácil acesso a todos os ocupantes da aeronave. Além disso, sua localização deve ser cuidadosamente escolhida para assegurar que, em uma situação de emergência, ofereça a forma mais eficiente e rápida de evacuação, permitindo que os passageiros deixem o avião com segurança e sem impedimentos. A quantidade máxima de assentos para passageiros que pode ser autorizada em uma aeronave está diretamente relacionada tanto ao tipo quanto à quantidade de saídas de emergência presentes em cada lado da fuselagem. Para cada tipo de saída de emergência instalado, há uma limitação específica em relação ao número de assentos de passageiros que pode ser acomodado com segurança. Esses limites são definidos conforme as características e capacidades de cada tipo de saída, garantindo que, em caso de emergência, todos os passageiros possam evacuar rapidamente e com segurança (FAA, 2024b).

Para uma aeronave de no máximo 9 passageiros, deve-se seguir a seguinte recomendação para as saídas de emergência: este tipo de abertura possui um formato retangular, com dimensões mínimas de 19 polegadas (482,6 mm) de largura e 26 polegadas (660,4 mm) de altura. Os cantos dessa abertura apresentam um raio de curvatura que não excede 6,3 polegadas (160,02 mm). A abertura está localizada sobre a asa da aeronave, e a diferença de altura entre o piso interno da aeronave e a base da abertura não pode ser maior do que 29 polegadas (736,6 mm). Do lado externo da aeronave, o degrau para acessar a abertura a partir da asa também deve respeitar uma altura máxima de 36 polegadas

(914,4 mm). Essas saídas devem ser colocadas acima da asa. (FAA, 2024b).



Figura 176 – Vista superior da localização da saída de emergência 1. Fonte: Do Autor

Para determinar a localização da porta de emergência em cima da asa, é interessante determinar mais ou menos a localidade desta em relação ao comprimento total da fuselagem.

De modo muito simplificado, o centro de gravidade da fuselagem e aeronave com peso vazio fica mais ou menos entre 40 a 50% do comprimento total (RAYMER, 2018). Como a asa fica bem próxima do C.G, essa porcentagem para a localização da saída de emergência será utilizada para bater precisamente com a asa já dimensionada.

A Figura 176 mostra a vista superior da cabine com a localização das portas de emergência. É visto que elas estão a 535 polegadas (13600 mm) e isso está dentro do intervalo de 40 a 50% do comprimento da fuselagem que é de 1141 polegadas (29000 mm).

No interior, as saídas se encontram entre a 2<sup>a</sup> e 3<sup>a</sup> seção. Na porta da direita, entre a poltrona de jantar e aparador. Na porta da esquerda, entre a poltrona simples e o divã. Por conta da obrigatoriedade da livre passagem, essas poltronas estão bloqueadas de reclinar totalmente. Em relação às dimensões requisitadas anteriormente, elas são atingidas e até ultrapassadas (no caso da altura) como visto nas Figuras 179, 180 e 181. Estas figuras apresentam uma porta mais próxima da janela. Essa foi a 1<sup>a</sup> versão da saída de emergência. A 2<sup>a</sup> versão é com a porta um pouco mais distante da janela, como visto nas Figuras 177 e 178 para dar um visual externo mais bonito.

Outro requisito emergencial são as máscaras de oxigênio. É obrigatório que exista uma unidade de distribuição de oxigênio suplementar para cada passageiro. Essas unidades precisam ser desenhadas de modo que cubram tanto o nariz quanto a boca, e devem incluir mecanismos apropriados para garantir que permaneçam corretamente ajustadas ao rosto do usuário. No caso das máscaras de oxigênio suplementar destinadas à tripulação de voo, elas devem possuir recursos que permitam o uso simultâneo de equipamentos de comunicação, assegurando que os pilotos possam continuar se comunicando durante o

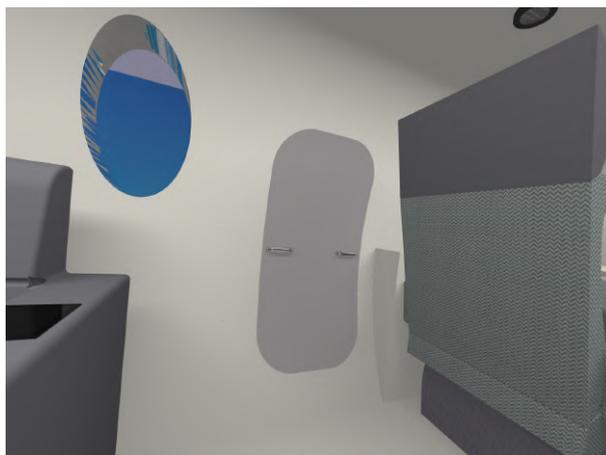


Figura 177 – Localização da saída de emergência 1.

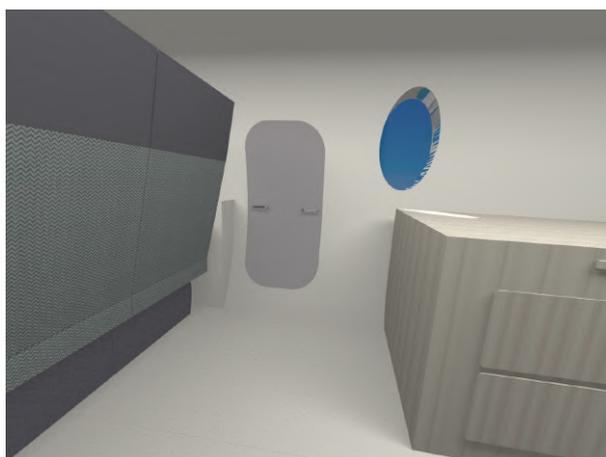


Figura 178 – Localização da saída de emergência 2.

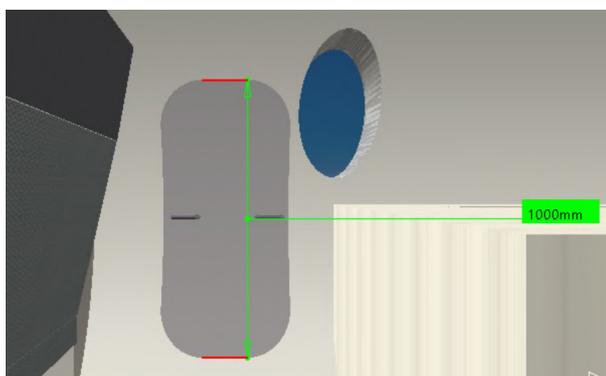


Figura 179 – Altura da saída de emergência.

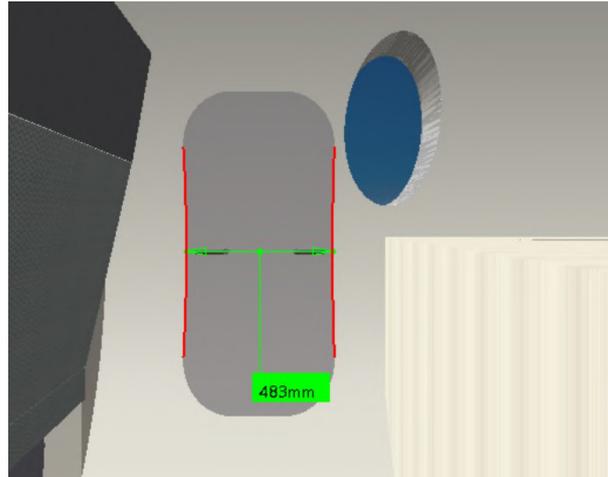


Figura 180 – Largura da saída de emergência.

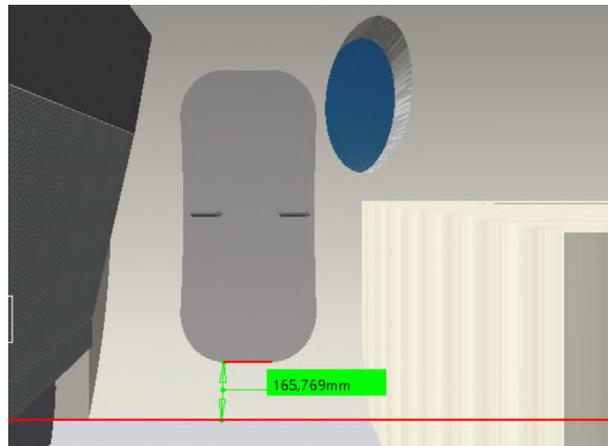


Figura 181 – Distância até o chão da saída de emergência.

uso de oxigênio (FAA, 2024a). Logo, a aeronave conceito possui máscara que segue esse requisito, como visto na Figura 182.



Figura 182 – Manequim segurando máscara de oxigênio em emergência.

É necessário que cada ocupante da aeronave tenha acesso imediato a uma unidade de fornecimento de oxigênio conectada aos terminais de suprimento, independentemente de onde esteja sentado. Além disso, cada banheiro da aeronave deve conter, no mínimo, duas dessas unidades conectadas aos respectivos terminais de oxigênio. O número total de unidades e saídas disponíveis na cabine deve ser, obrigatoriamente, superior em 10% ao número de assentos existentes. As unidades adicionais precisam ser distribuídas de forma tão uniforme quanto possível por toda a cabine, garantindo que todos os passageiros tenham acesso adequado ao oxigênio suplementar em caso de emergência (FAA, 2024a). Assim, como localizado na Figura 183, todas as poltronas possuem máscaras de oxigênio e cada lavatório possui 2, como requisitado. Assim, totalizando 20 máscaras na cabine, o que ultrapassa os 10% a mais da quantidade de poltronas.

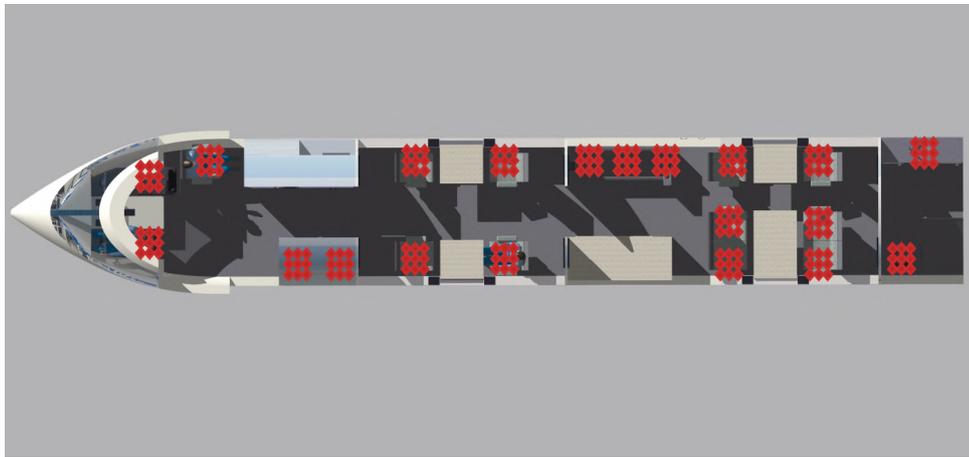


Figura 183 – Vista de cima com a localização das máscaras de oxigênio. Fonte: Do Autor

É essencial que o equipamento de oxigênio portátil esteja prontamente acessível para cada comissário de bordo, de modo que possam utilizá-lo imediatamente em situações de necessidade (FAA, 2024a).

## 7.6 Iluminação

A iluminação da cabine é feita de 3 formas. A primeira e convencional iluminação no teto de fora afora por toda a cabine como revela a Figura 184. Ela possui uma menor intensidade na seção 2, como já falado anteriormente. Como visto no sub-capítulo acerca da mobilidade, o envelope do manequim sentado não alcança o teto acima da cabeça. Por isso, a cabine oferece uma alternativa de iluminação que é a luminária de mesa. Ela fica embutida no *side ledge*. Por isso, basta abrir o compartimento e puxar a luminária. Ela possui um corpo dobrável e longo que faz com que seja fácil de manusear, retirar e guardar. A Figura 185 mostra o funcionamento dessa iluminação. Caso o passageiro deseje utilizar o spot de luz do teto da Figura 186, basta ativá-lo no controle lateral da poltrona.



Figura 184 – Iluminação principal da cabine. Fonte: Do Autor

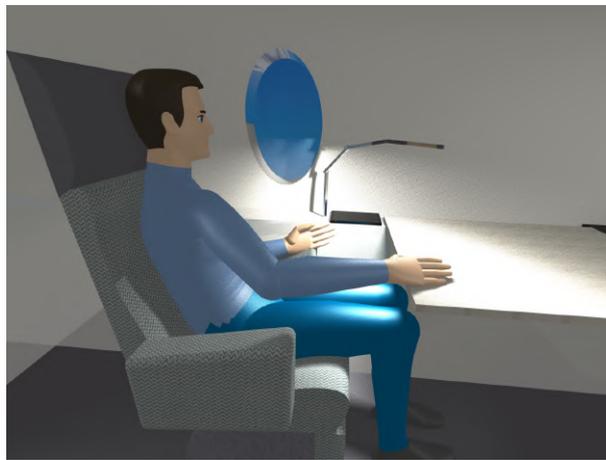


Figura 185 – Iluminação com a luminária de mesa. Fonte: Do Autor

Ela possui uma luz mais direcionada e pode auxiliar em áreas que a luminária de mesa não chega.



Figura 186 – Iluminação com o spot de luz. Fonte: Do Autor

As 3 iluminações podem ser usadas em conjunto, porém, a iluminação principal já é bastante eficiente.

## 7.7 LOFT da aeronave conceito

Por fim, a aeronave conceito é vista nas figuras abaixo.



Figura 187 – Aeronave conceito



Figura 188 – Aeronave conceito vista de lado

## 7.8 Comparativo com as aeronaves da categoria

Quadro 15: Comparativo de comodidades dos jatos tipo large com a aeronave conceito.

SETOR	COMODIDADES	Bombardier			Dassault		Gulfstream			Aeronave Conceito
		5500	6000	6500	7X	8X	500	600	650/650ER	
Entrada	Porta de entrada com isolamento acústico	x	x	x					x	x
	Cortinas de fechamento de cabine	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Área privativa para tripulação com assento reclinável, tomadas elétricas e armazenamento		x	x	x			x	x	x
	Mesa console para tripulação								x	x
	Monitor HD					x	x		x	x
Galley	Pia e torneira	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Gaveta de gelo	x	x	x			x	x	x	x
	Forno	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Microondas	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Máquina de café	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Armazenamento refrigerado	x		x			x	x	x	x
	Refrigerador de vinho elétrico				x	x		x	x	x
	Armazenamento com iluminação	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Cabine	Painel de controle sensível ao toque					x	x	x	x	x
	Persianas elétricas						x	x	x	x
	Mesas laterais ocultáveis	x		x	x	x	x	x	x	x
	Armazenamento no assento de acesso rápido	x	x	x		x	x	x	x	
	Mesa com regulagem de altura	x	x	x					x	x
	Espreguiçadeira	x	x	x						x
	Aparador com armazenamento	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Assentos com reclinção	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Lavatórios	Impressora multifuncional								x	x
	3 tipos de iluminação para o passageiro									x
	Pia e torneira	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Espelho	x	x	x	x	x	x	x	x	
	Sanitário com sistema de vácuo	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Armazenamento	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Guarda-roupas	x	x	x						x
	Penteadeira	x	x	x						x
Entretenimento	Chuveiro		x	x						x
	Conectividade de internet em alta velocidade	x	x	x			x	x	x	x
	Capacidade de streaming de música sem fio em toda cabine	x	x	x		x			x	x
	Controle sem fio do ambiente da cabine	x	x	x	x		x	x	x	x
	Entretenimento na cabine com capacidade 4K ou HD	x	x	x	x	x	x	x	x	x
	Sistema de informação de voo			x			x	x	x	x
	Telas sensíveis ao toque em cada assento						x	x		x
	Entradas HDMI e USB			x		x	x			x
Tela individual para cada passageiro									x	

Fonte: Do Autor

Como apresentado no Quadro 15, a aeronave conceito apresenta mais comodidades do que a maioria das aeronaves da mesma categoria. Apenas o modelo 650/650ER da *Gulfstream* que possui um aporte parecido, mas mesmo assim, a aeronave conceitual vence no número de comodidades.

Quadro 16: Comparativo dos requisitos operacionais aproximados dos jatos tipo large com a aeronave conceito.

Requisitos operacionais	Bombardier			Dassault		Gulfstream			Aeronave Conceito	Posição da aeronave conceito em relação aos demais
	5500	6000	6500	7X	8X	500	600	650/650ER		
Altura interna (mm)	1880	1880	1880	1880	1880	1880	1880	1910	2000	Melhor altura interna
Largura interna (mm)	2410	2410	2410	2340	2340	2310	2310	2490	2700	Melhor largura interna
Comprimento de cabine (mm)	12410	13180	13180	11910	13000	12650	13700	14270	13400	3º melhor comprimento
Máximo peso de carga útil (kg)	3200	2600	2600	2700	2200	2400	2900	2900	3000	2º melhor peso útil
Velocidade máxima (mach)	0,88	0,88	0,88	0,86	0,86	0,9	0,9	0,9	0,9	Melhor velocidade (com as demais)
Alcance (km)	11000	11000	12250	11000	12000	9800	12250	13800	12300	2º melhor alcance
Ocupantes	11	12	12	11	11	11	12	12	13	Melhor número de ocupantes
Altitude máxima	15545	15545	15545	15545	15545	15545	15545	15545	15545	Mesmo que os demais

Em relação aos requisitos operacionais, é visto no Quadro 16 que a aeronave possui

requisitos competitivos em relação aos da mesma categoria, liderando em alguns e estando em 2º em outros. Juntando esses requisitos e as comodidades, mostra que a aeronave conceito é bastante competitiva no mercado e seu maior competidor na categoria é o 650/650ER da *gulfstream*.

## 7.9 Trabalhos futuros

Como sugestão para continuação deste trabalho, seria interessante um maior detalhamento do interior da aeronave, como colocação de parafusos, eixos de rotação nas poltronas, nas portas e um maior detalhe no cockpit, com o posicionamento dos botões e luzes de navegação.

Após este maior detalhamento do interior, seria oportuno um refino da asa do avião, com um projeto mais elaborado do aerofólio e uma melhor definição da posição da asa na fuselagem, conforme os pesos refinados dos monumentos internos. Assim, com um ajuste na asa, será possível também ajustar os estabilizadores da aeronave. Também é interessante dimensionar as superfícies de controle como *aileron*, *flap*, *slat* e *spoiler*. Além disso, o trem de pouso da aeronave pode ser colocado, bem como sua localização na fuselagem.

Em relação ao posicionamento da asa, este requer um maior refino do centro de gravidade da aeronave. Um segundo refino pode ser visualizado na Tabela 20

Tabela 20 – Segundo refino da posição do cg

Componentes	Peso (kg)	Posição (m)	$x \cdot W$
<b>Asa</b>	5506,44	12,9	71033,08
<b>Empenagem</b>	1376,61	28	38545,08
<b>Fuselagem</b>	5735,875	11,6	66536,15
<b>Motores</b>	6194,745	26	161063,4
<b>Trem de pouso</b>	2523,785	12,9	32556,83
<b>Assentos</b>	240	12,9	3096
<b>Todo resto vazio</b>	660,445	14,5	9576,453
<b>Vazio</b>	22237,9	-	382407
<b>Combustível</b>	20649,1	12,9	266373,4
Carga paga	3000	14,5	43500
<b>TOTAL</b>	45887	-	692280,3

$x_{cg}$ vazio	17,19618 m
$x_{cg}$ cheio	15,08663 m

Fonte: Do Autor, retirado de (RAYMER, 2018).

Este redimensionamento considera os principais componentes da aeronave e seus devidos pesos e localizações. Assim, é possível calcular o envelope do centro de gravidade

com o peso vazio e peso cheio. Em trabalhos futuros, essas aproximações precisam ser ainda mais ajustadas e assim, posicionar o centro de gravidade no local exato. Esse segundo refino mostra que depois da localização inicial colocada neste trabalho, é necessário ir ajustando o envelope.

## 8 Conclusão

O presente trabalho teve como objetivo definir os requisitos básicos operacionais e o LOPA da aeronave conceitual. Para isso foi necessário levantar os jatos executivos presentes no mercado e que foram os mais vendidos no ano de 2022. Porém, esse levantamento é muito amplo e se fez precisar afunilar essas aeronaves em categorias. E essa categoria foi definida como sendo a de tipo *large*, na qual foi a mais vendida no ano de 2022. Além disso, é a categoria mais promissora também para o futuro. A partir disso, foi restringido a comparação para apenas 9 aeronaves, de 3 fabricantes diferentes: *Bombardier*, *Dassault* e *Gulfstream*. Foi definido entre esses jatos, quais foram os mais vendidos dos últimos 3 anos e quais eram as mais bem avaliadas pelos consumidores, e foi constatado que todos os modelos da *Gulfstream*, 3 modelos, ganharam. Isso foi levado em conta no momento da escolha dos requisitos da aeronave conceito, pois, essas aeronaves possuíam uma maior relevância na comparação.

Para as definições dos requisitos básicos operacionais da aeronave conceito, foram analisados o gráfico de importância de cada requisito para o consumidor. Dependendo do requisito, ele tinha um aumento ou diminuição (no caso do custo) no mesmo valor dessa porcentagem de importância. Para aqueles requisitos que possuem menos relevância, a definição foi mais simples, adotando apenas o mesmo valor em relação as demais aeronaves. Esse sistema de aumento ou diminuição do valor do requisito conforme a porcentagem de relevância, é um modo encontrado pelo autor para dar maior peso aos requisitos mais relevantes, nos quais foram o máximo peso de carga útil, número de passageiros, custo, velocidade máxima, velocidade de cruzeiro, alcance e máxima altitude, respectivamente.

Para definição do LOPA da aeronave, foi necessário levantar todas as comodidades e equipamentos que as aeronaves concorrentes possuem, para que todos eles possam ser incorporados na aeronave conceitual. As preferências dos usuários também foram considerados no momento da definição da LOPA da aeronave, em que houve uma necessidade maior de uma cabine mais conectada e com um maior sistema de entretenimento.

Mesmo que algumas definições foram alcançadas de forma comparativa com a concorrência, esses parâmetros necessitaram de um ajuste para que se adaptasse ao projeto. No caso do número máximo do mach, que aumentou de 0,86 para 0,90 e o alcance que diminuiu de 13600 km para 12300 km, foram necessários para a aeronave possuir um peso compatível com os concorrentes de mesma categoria. O comprimento da cabine, altura e largura mudaram de valor para que as relações métricas apresentadas pela literatura fizessem sentido. Esses ajustes demonstram que os cálculos podem alterar valores previamente encontrados por comparação. É desafiador ajustar esses valores, é necessá-

rio bastante iterações e comparações para alcançar valores aceitáveis em relação aos que existem no mercado.

A aeronave conceito mostrou ser possível aliar as necessidades dos clientes com uma aeronave tecnológica, organizada e bonita. Isso é possível graças a uma boa comparação com o que já existe no mercado e assim, não começar um projeto do zero. Juntar com o que já existe com aquilo que é pedido ou desejado, foi bastante útil no presente trabalho.

## Referências

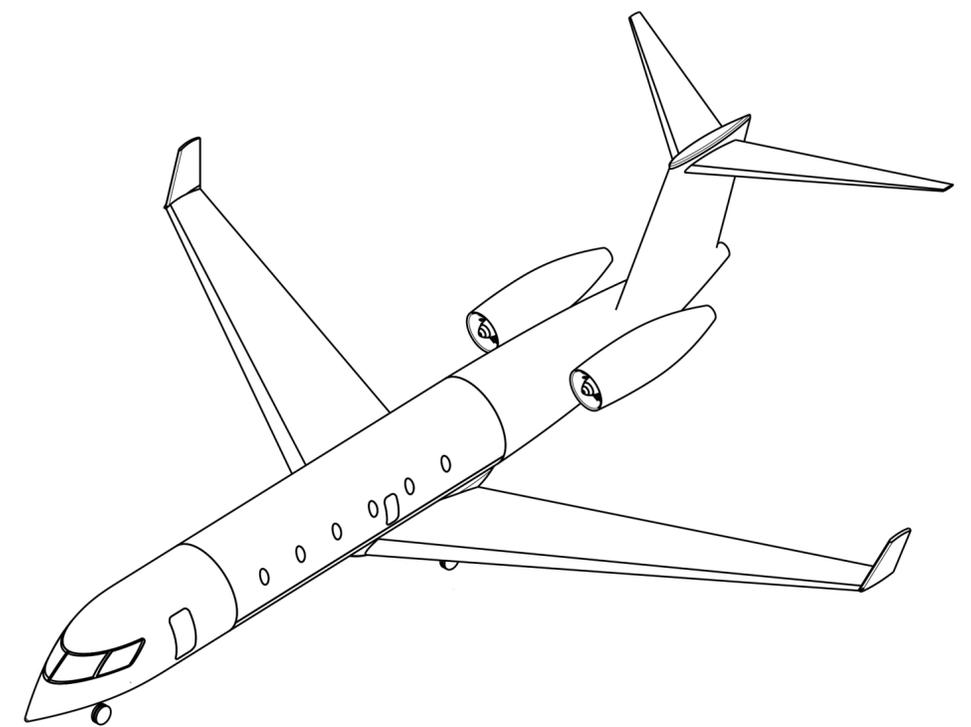
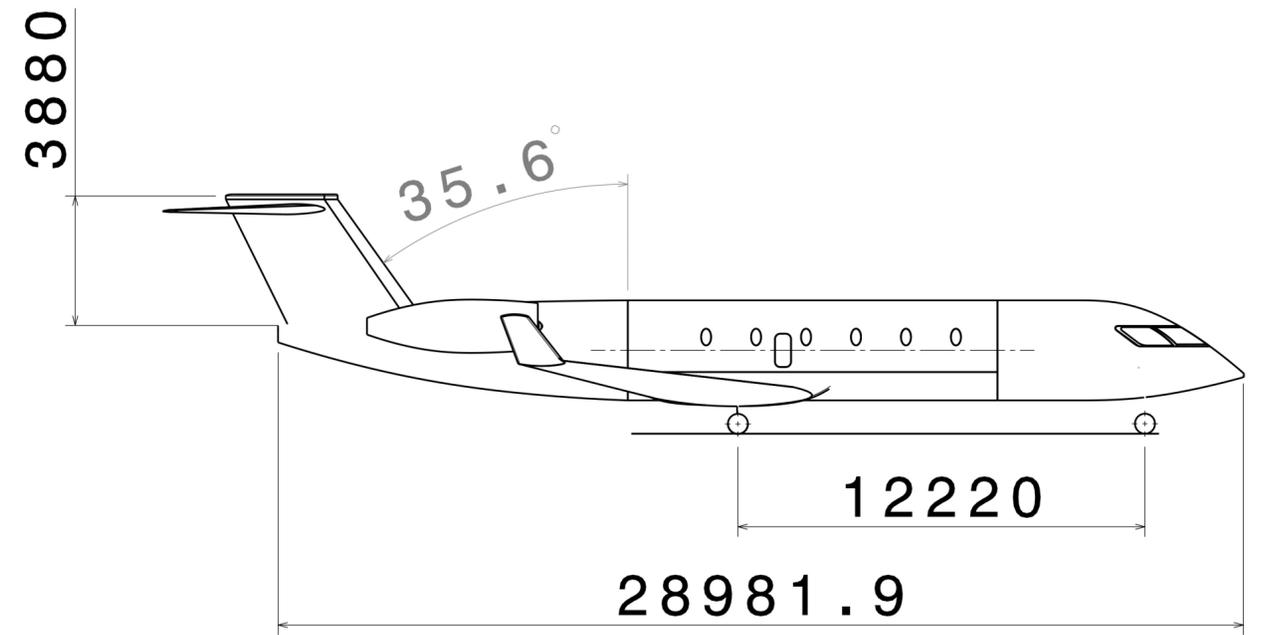
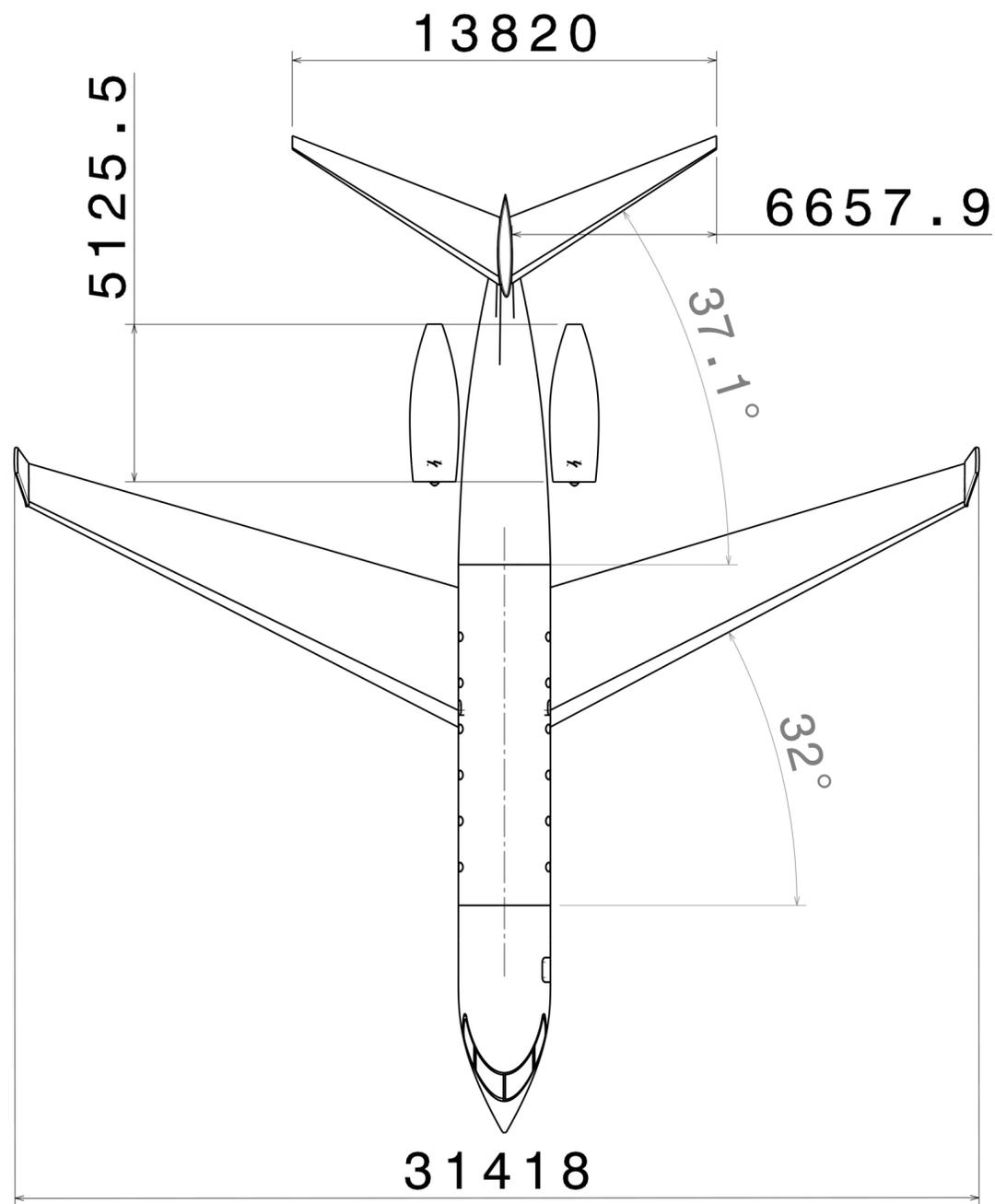
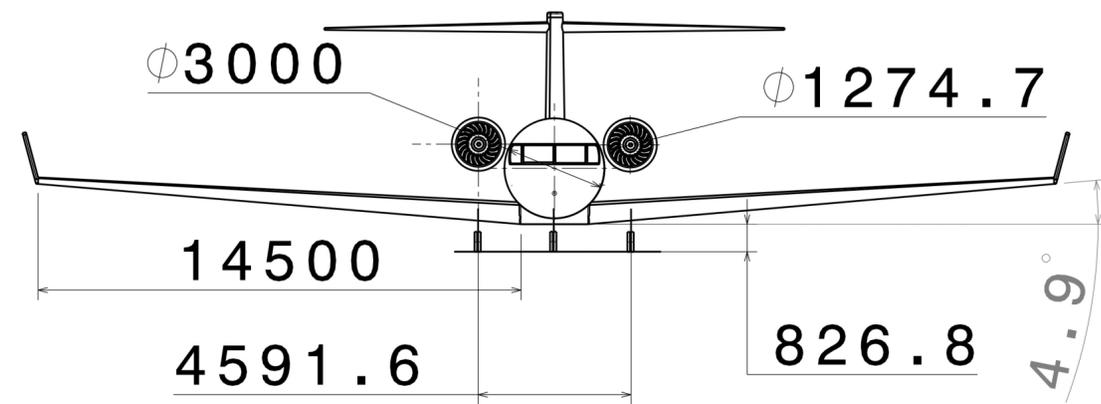
- ANAC, A. N. de A. C. *Anuário do Transporte Aéreo*. ANAC, 2022. Disponível em: <<https://www.gov.br/anac/pt-br/assuntos/dados-e-estatisticas/mercado-do-transporte-aereo/panorama-do-mercado/anuario-transporte-aereo>>. Citado 5 vezes nas páginas 13, 57, 58, 59 e 60.
- ARGUS. *2022 North American Business Aviation Review*. [S.l.], 2023. Citado 3 vezes nas páginas 13, 60 e 61.
- BOMBARDIER. *Global 6000 Brochure*. [S.l.], 2020. Citado 3 vezes nas páginas 14, 81 e 82.
- BOMBARDIER. *Global 5500 Brochure*. [S.l.], 2023. Citado 6 vezes nas páginas 14, 15, 79, 80, 81 e 114.
- BOMBARDIER. *Global 6500 Brochure*. [S.l.], 2023. Citado 3 vezes nas páginas 14, 83 e 84.
- BOMBARDIER. *Bombardier*. [S.l.], 2024. Citado 4 vezes nas páginas 42, 44, 46 e 48.
- CAPITAL, G. New and pre-owned business jet transaction forecast. *BUSINESS JET MARKET OUTLOOK 2022-2026*, 2023. Citado 5 vezes nas páginas 14, 63, 64, 65 e 66.
- CESSNA. *Cessna by Textron Aviation*. [S.l.], 2024. Citado 2 vezes nas páginas 42 e 44.
- CIRRUS. *Cirrus Aircraft*. [S.l.], 2024. Citado na página 41.
- DASSAULT. *Dassault Falcon 7X Brochure*. [S.l.], 2022. Citado 3 vezes nas páginas 14, 85 e 86.
- DASSAULT. *Dassault Falcon 8X Brochure*. [S.l.], 2022. Citado 3 vezes nas páginas 15, 86 e 87.
- DASSAULT. *Dassault*. [S.l.], 2024. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 48.
- DREYFUSS, H. *The measure of man Human factors in design*. [S.l.: s.n.], 1966. Citado 7 vezes nas páginas 16, 19, 131, 132, 136, 137 e 167.
- DUBE, K. Emerging from the covid-19 pandemic: Aviation recovery, challenges and opportunities. *Aerospac 2023*, 2022. Citado 6 vezes nas páginas 13, 14, 55, 56, 57 e 61.
- ELBERT HENRIKE B. KROEMER, A. D. K. H. K. E. K. *ERGONOMICS, HOW TO DESIGN FOR EASE AND EFFICIENCY*. [S.l.]: Elsevier, 2018. Citado na página 147.
- EMBRAER. *Embraer*. [S.l.], 2024. Citado 4 vezes nas páginas 41, 42, 44 e 46.
- FAA. 14 cfr 25.1447. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Federal Aviation Administration, Department of Transportation, 2024. cap. 1. Citado 2 vezes nas páginas 172 e 173.
- FAA. 14 cfr 25.807. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Federal Aviation Administration, Department of Transportation, 2024. cap. 1. Citado 2 vezes nas páginas 169 e 170.

- FAA. 14 cfr part 25. In: \_\_\_\_\_. [S.l.]: Department of Transportation, 2024. cap. 1. Citado na página 129.
- FLAP. *Labace*. Gianfranco Panda Beting, 2023. v. 608. Disponível em: <[flapinternacional.ig.com.br](http://flapinternacional.ig.com.br)>. Citado 4 vezes nas páginas 14, 49, 62 e 74.
- GAMA. *Worldwide Business Jet Shipments by Manufacturer (1996-2022)*. [S.l.], 2022. Disponível em: <<https://gama.aero/facts-and-statistics/statistical-databook-and-industry-outlook/annual-data/#~:text=The%20overall%202022%20general%20aviation,%2C%20an%20increase%20of%206.3%25.>>> Citado 2 vezes nas páginas 67 e 70.
- GUDMUNDSSON, S. *General Aviation Aircraft Design*. [S.l.]: Butterworth-Heinemann, 2014. Citado 3 vezes nas páginas 32, 36 e 39.
- GULFSTREAM. *Gulfstream G500 Brochure*. [S.l.], 2020. Citado 4 vezes nas páginas 15, 87, 88 e 89.
- GULFSTREAM. *Gulfstream G600 Brochure*. [S.l.], 2020. Citado 3 vezes nas páginas 15, 89 e 90.
- GULFSTREAM. *Gulfstream G650/G650ER Brochure*. [S.l.], 2022. Citado 5 vezes nas páginas 15, 91, 92, 93 e 114.
- GULFSTREAM. *Gulfstream a General Dynamics Company*. [S.l.], 2024. Citado 2 vezes nas páginas 46 e 48.
- HONDA. *Honda Aircraft Company*. [S.l.], 2024. Citado na página 41.
- IALTA. *Location of Passenger Accommodations – LOPA*. [S.l.], 2022. Citado na página 39.
- ICC. *Bathroom Planning Guidelines with Access Standards*. [S.l.], 2009. Citado na página 129.
- IMBERG, M.; SHABAN, M.; WARBURTON, S. Spotlight on private jet owners. *Wealth-x*, 2021. Citado 6 vezes nas páginas 13, 51, 52, 53, 60 e 62.
- MIGON, M. N. et all. Panorama-síntese da aviação executiva a jato. *BNDES Setorial*, Rio de Janeiro, n. 34, p. 75–132, 2011. Citado 3 vezes nas páginas 13, 31 e 56.
- MIGUEL, P. A. C. Qfd no desenvolvimento de novos produtos: um estudo sobre a sua introdução em uma empresa adotando a pesquisa-ação como abordagem metodológica. *Produção*, v. 19, p. 105–108, 2009. Citado na página 71.
- MURPHY, A. M.; SIMON, V. Private jets: can the super rich supercharge zero-emission aviation? Bruxelas, Bélgica, 2021. Citado na página 40.
- PAIM DANIELE PERAÇA, F. S. I. M. T. M. C. Análise ergonômica: Métodos rula e owas aplicados em uma instituição de ensino superior. *Revista Espacios*, 2016. Citado na página 149.
- PILATUS. *Pilatus*. [S.l.], 2024. Citado na página 42.

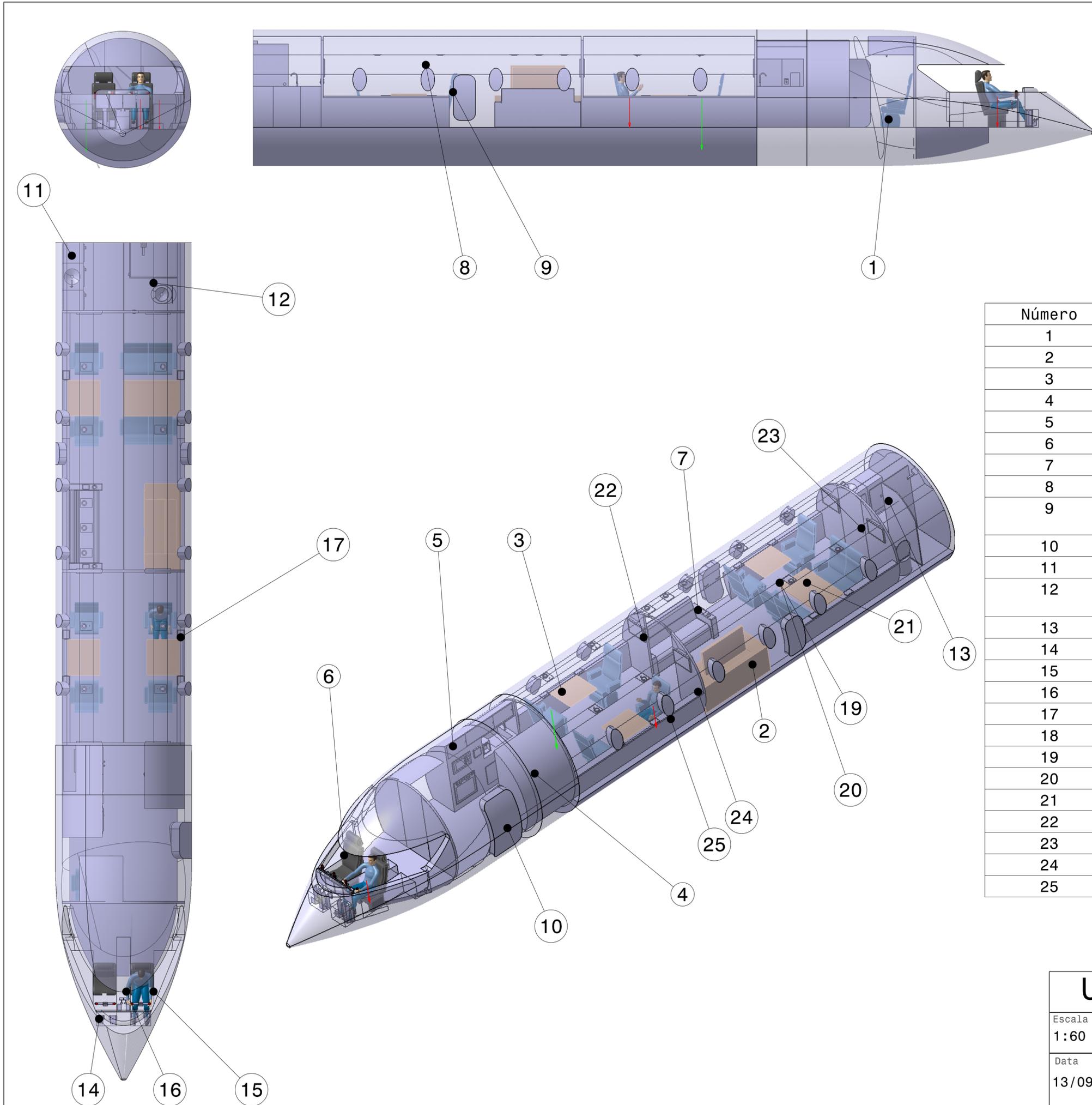
- RAYMER, D. P. *Aircraft Design: A Conceptual Approach*. [S.l.]: AIAA EDUCATION SERIES, 2018. Citado 34 vezes nas páginas 13, 15, 20, 32, 35, 36, 69, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 120, 121, 122, 123, 170, 177, 203, 204, 205, 206 e 207.
- RIMMER, P. J. Aviation and covid-19 pandemic: Towards the ‘next normal’. *Journal of International Trade, Logistics and Law*, Canberra, Austrália, v. 6, n. 2, p. 119–136, 2020. Citado 3 vezes nas páginas 13, 54 e 55.
- ROSKAM, J. *Airplane Design, Part II: Preliminary configuration design and integration of the propulsion system*. [S.l.]: Roskam Aviation and Engineering Corporation, 1985. Citado 5 vezes nas páginas 15, 19, 109, 165 e 166.
- ROYCE, R. *BR725 brochure*. [S.l.], 2024. Citado na página 105.
- SCHOLZ, D. *Aircraft Design*. [S.l.]: Hamburg University, 2015. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 109.
- TRAVELER, B. J. Business jet traveler’s 11th annual. In: *Buyer’s Guide 2021*. [S.l.: s.n.], 2021. Citado 6 vezes nas páginas 14, 15, 70, 72, 94 e 95.
- TRAVELER, B. J. Business jet traveler’s 12th annual. In: *Buyer’s Guide 2022*. [S.l.: s.n.], 2022. Citado 3 vezes nas páginas 14, 70 e 72.
- TÉCNICAS, A. B. D. N. *NBR 8050: Acessibilidade a edificações, mobiliário, espaços e equipamentos urbanos*. [S.l.], 2015. Citado na página 129.
- UJIHARA, H. M.; CARDOSO Álvaro A.; CHAVES, C. A. Qfd como estratégia para desenvolvimento e melhoria de produtos, serviços e processos. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 40.

# Apêndices

# APÊNDICE A – Desenhos

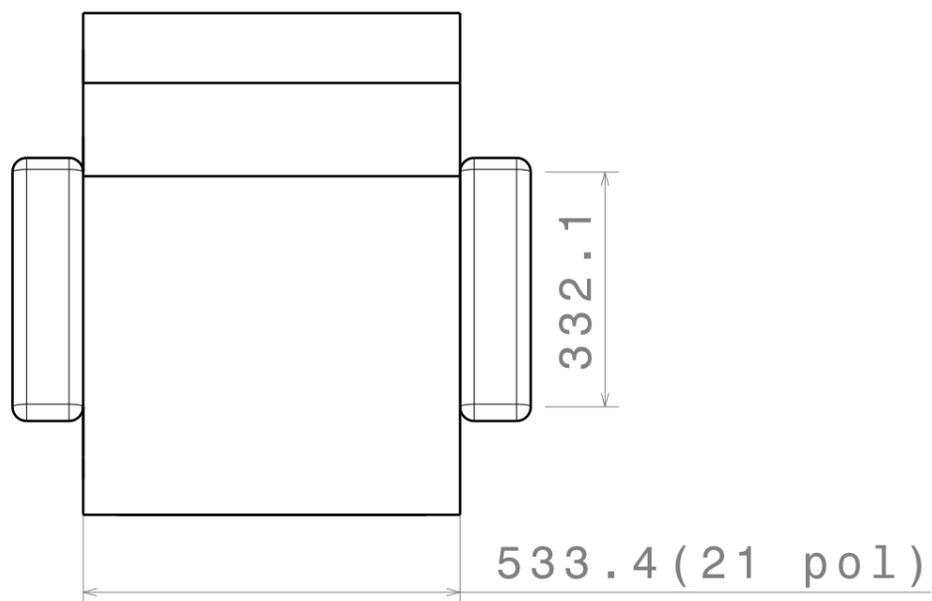
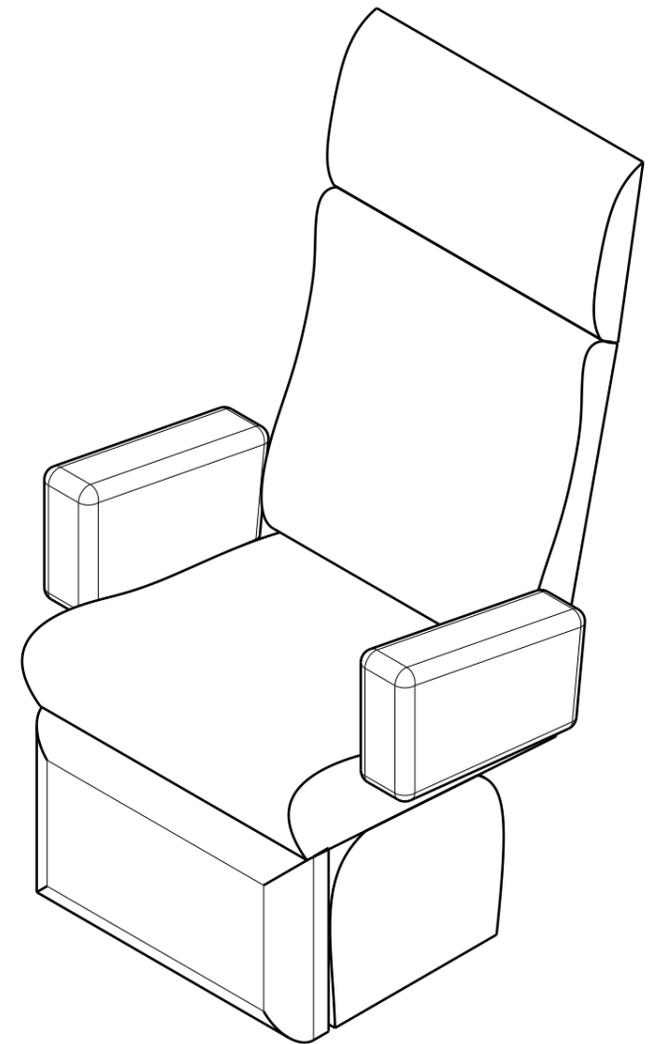
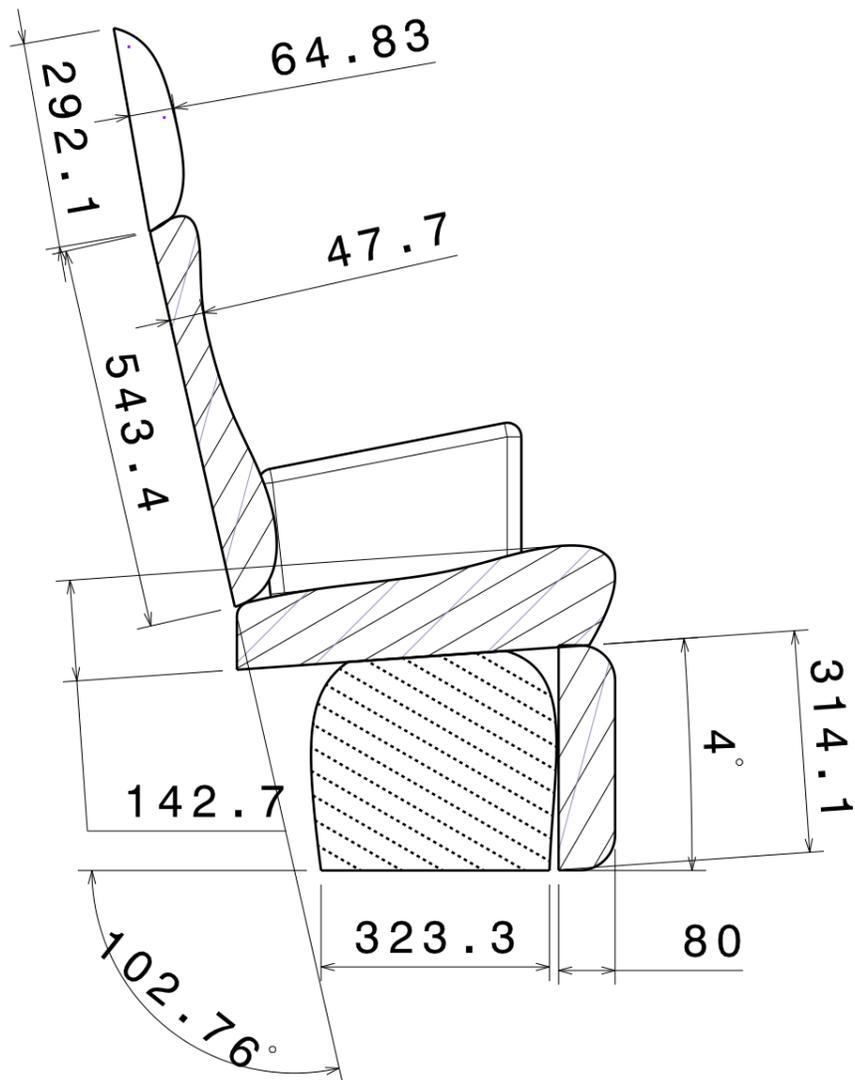
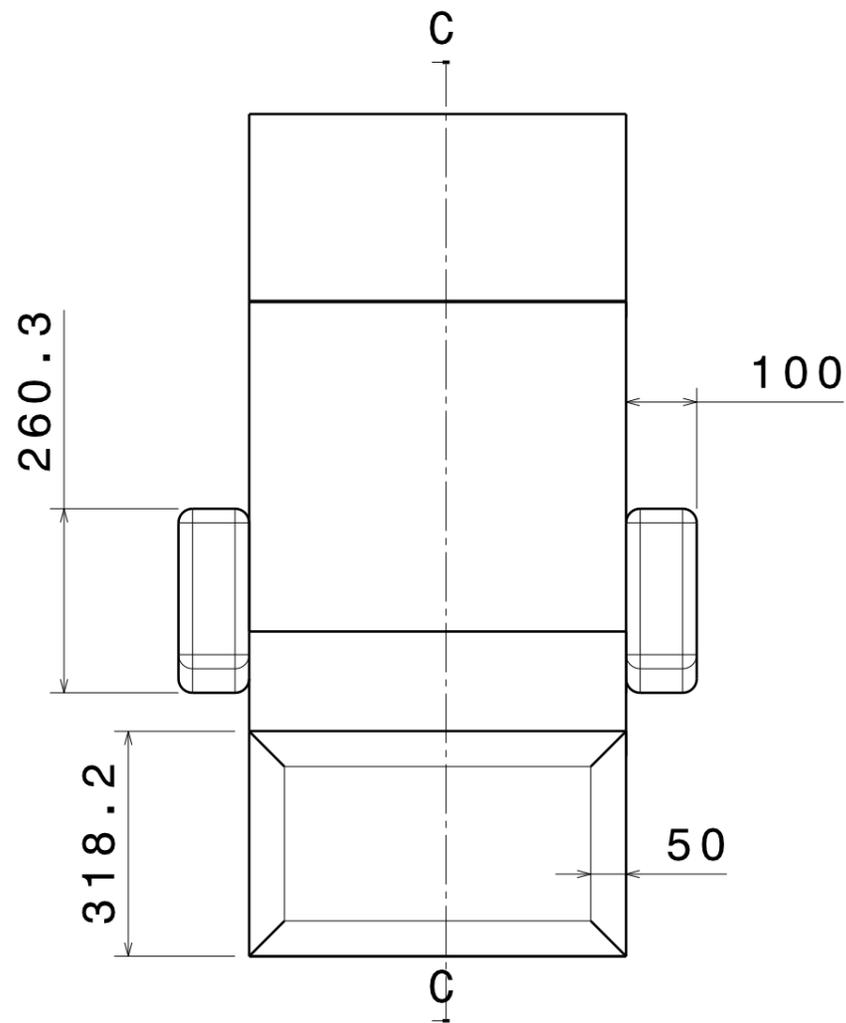


UnB	DIAC 1	FGA
Escala 1:150	Nome do Desenho LOFT	Diedro 
Data 13/09/2024	Nome do Aluno / Matrícula Gutemberg/180113534	Folha N°/N° de folha 1/13

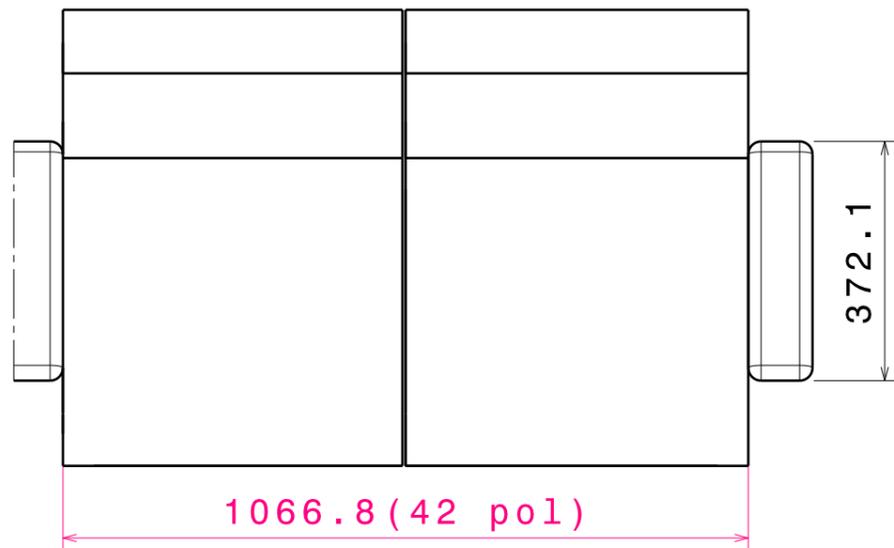
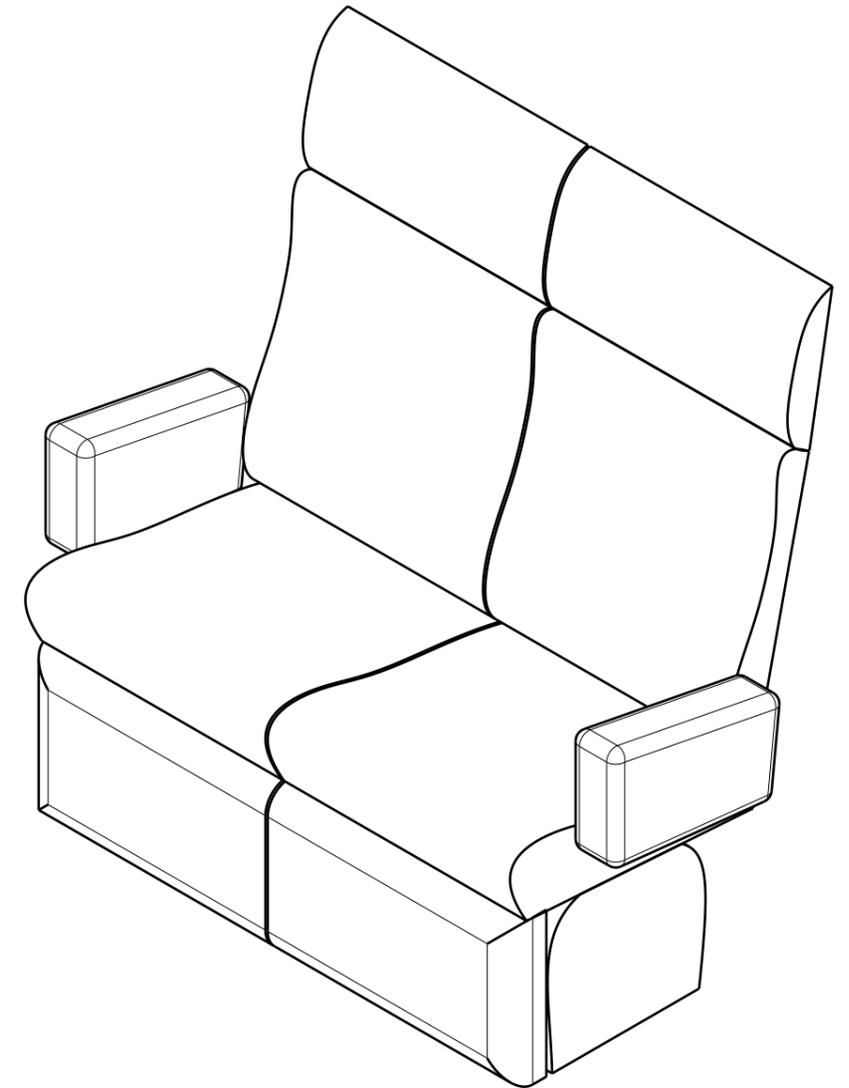
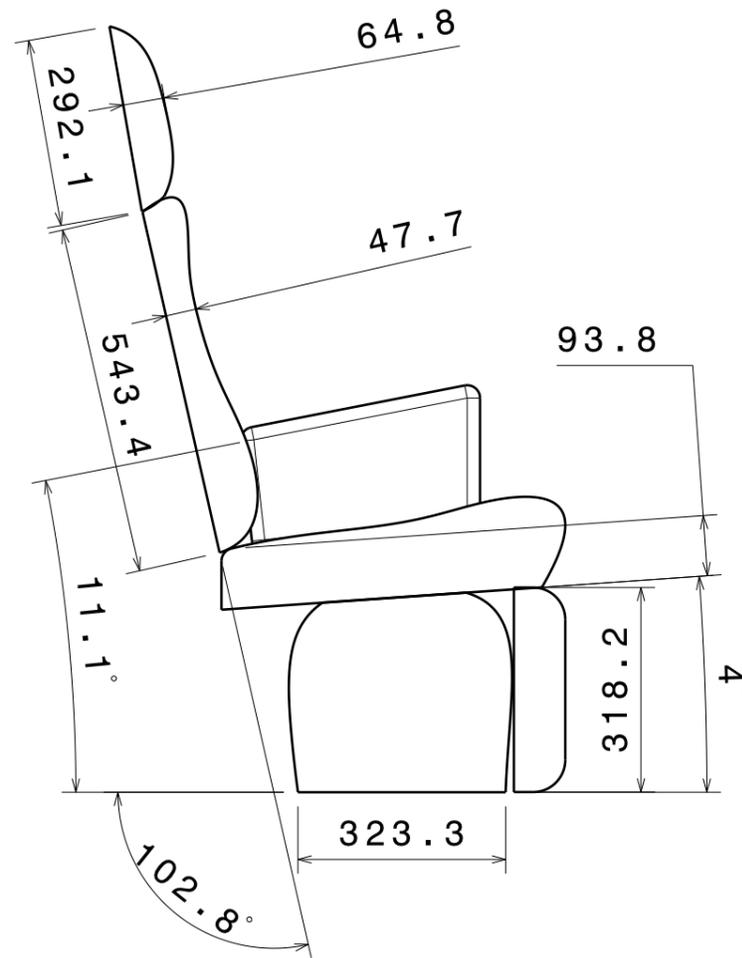
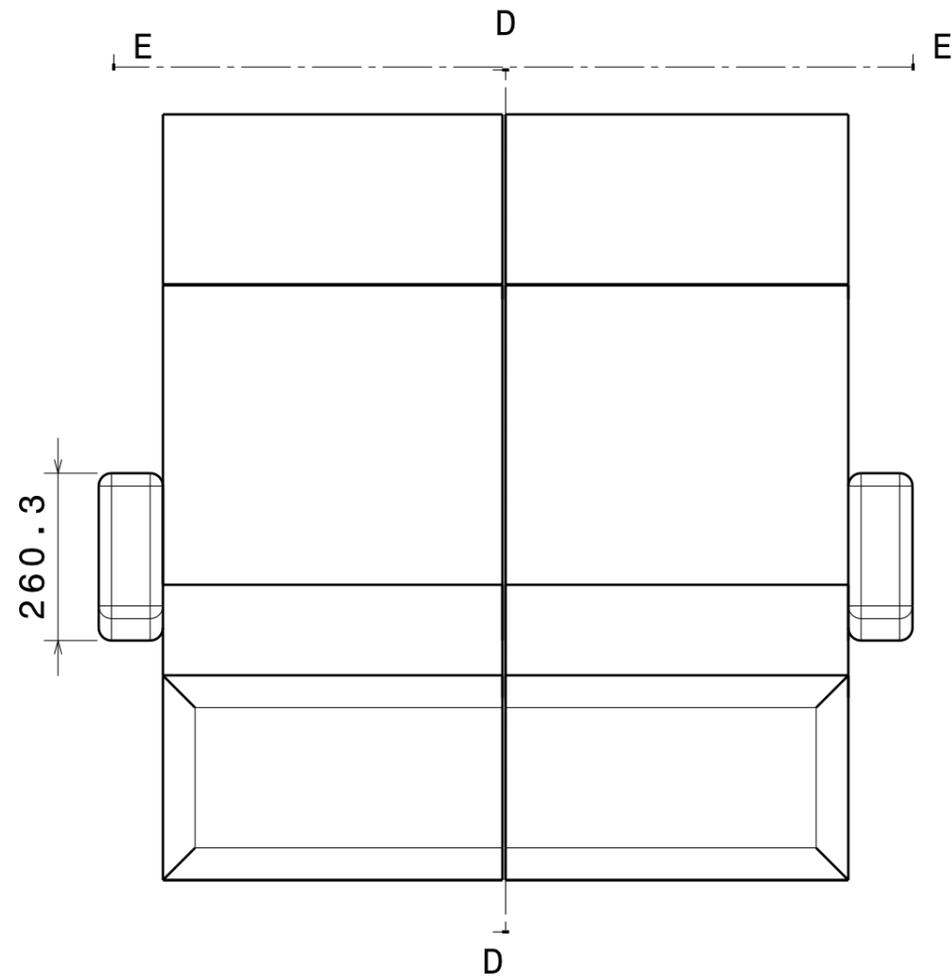


Número	Quantidade	Nome
1	7	Poltrona simples
2	1	Aparador
3	3	Mesa simples
4	1	Lavatório dianteiro
5	1	Galley
6	2	Poltrona do cockpit
7	1	Divã
8	12	Janela
9	2	Saída de emergência
10	1	Porta dianteira
11	4	Armário/pia banheiro
12	2	Vaso sanitário
13	1	Box de banho
14	2	Pedal
15	2	Manche
16	1	Manete de potência
17	10	Controle no side ledge
18	2	Poltrona de jantar
19	12	Saída de luz superior
20	12	Saída do ar condicionado
21	1	Mesa de jantar
22	8	Televisão
23	3	Porta
24	4	Divisória
25	8	Luz auxiliar do side ledge

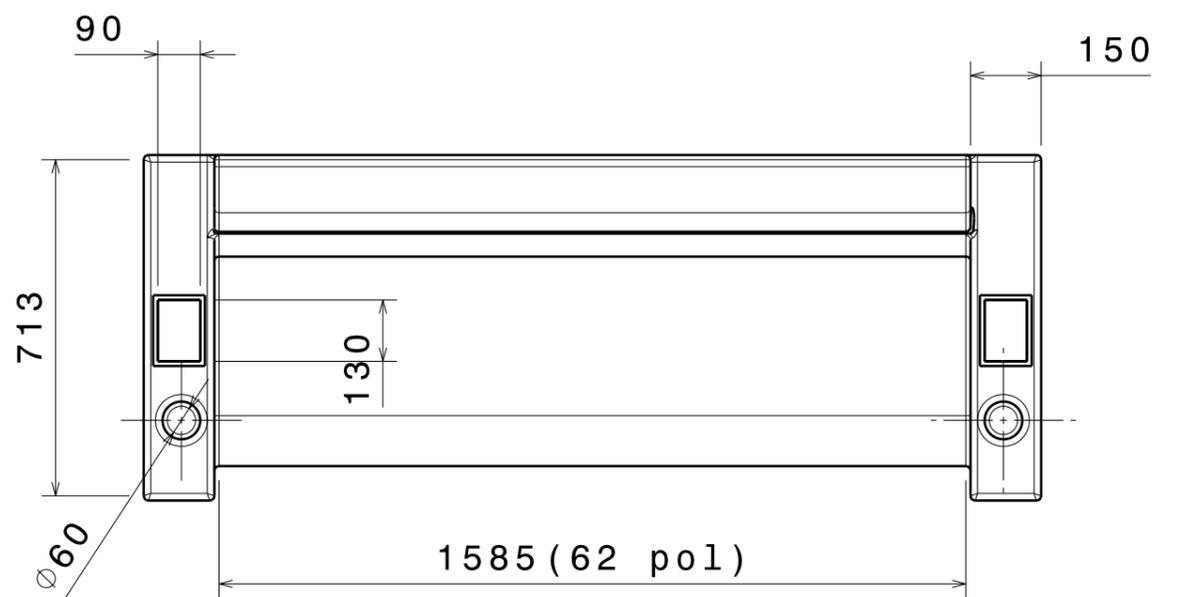
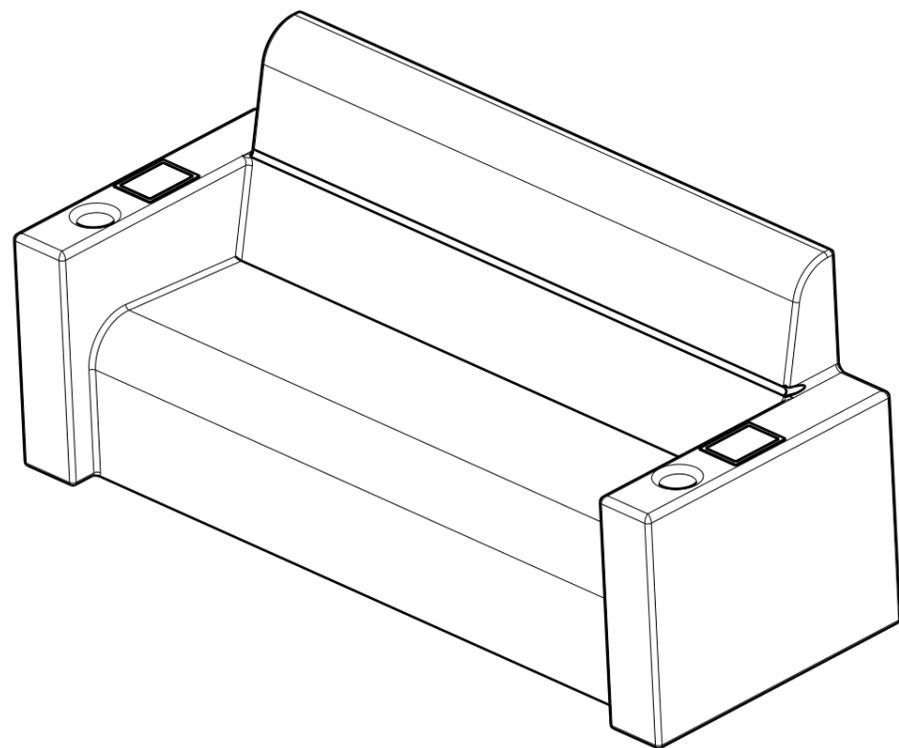
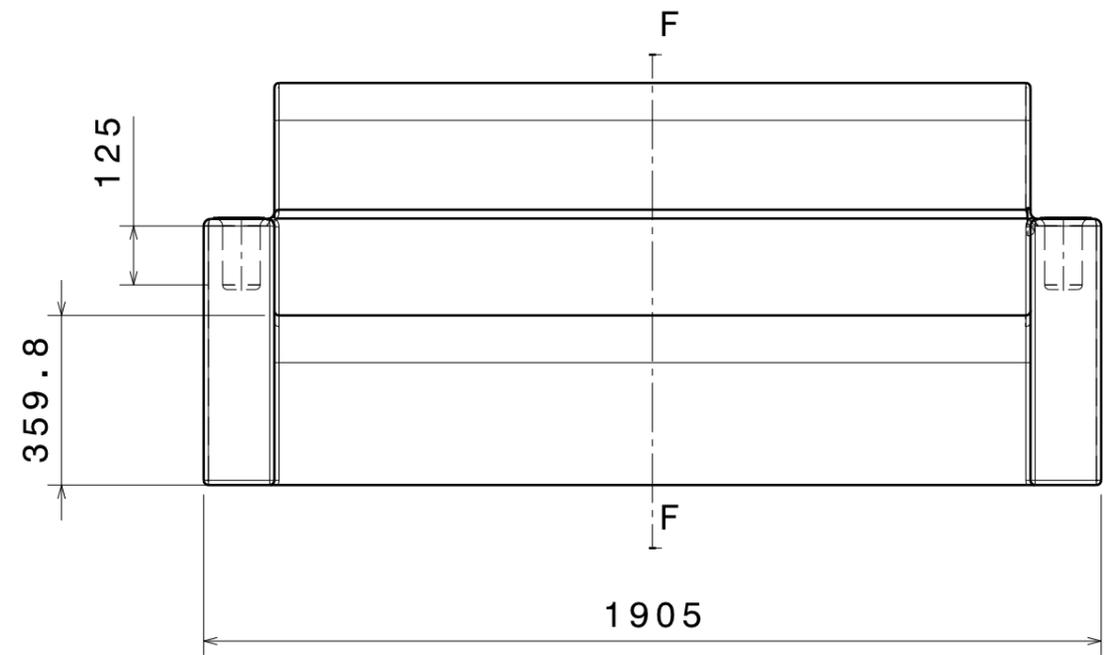
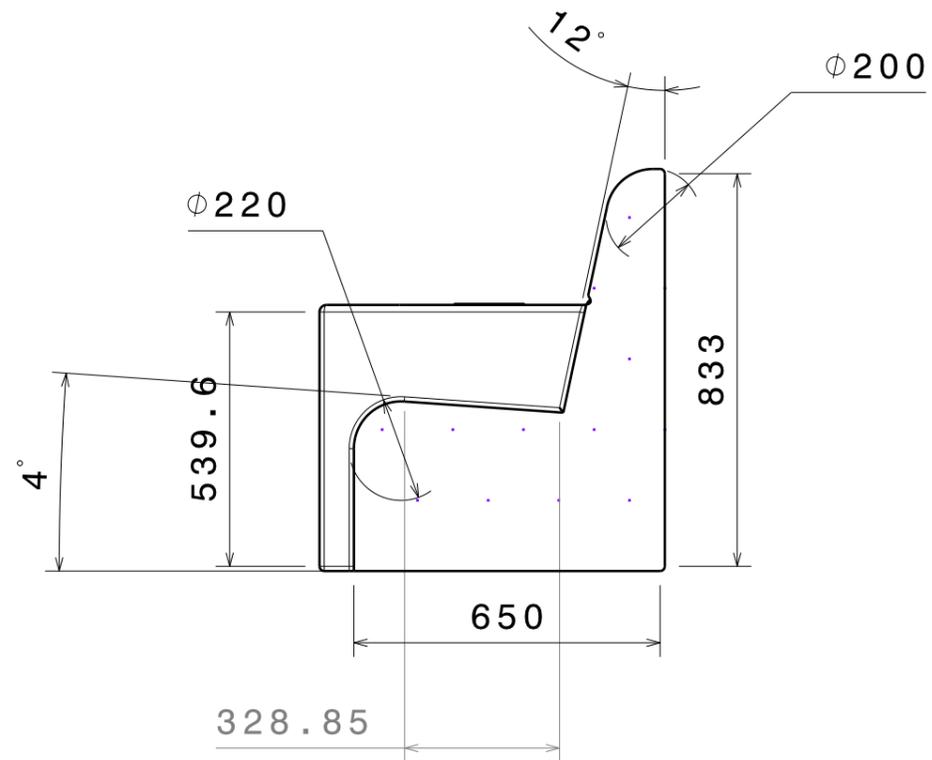
UnB	DIAC 1	FGA
Escala 1:60	Nome do Desenho LOPA	Diedro 
Data 13/09/2024	Nome do Aluno / Matrícula Gutemberg/180113534	Folha N°/N° de folha 2/13

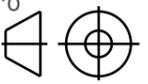


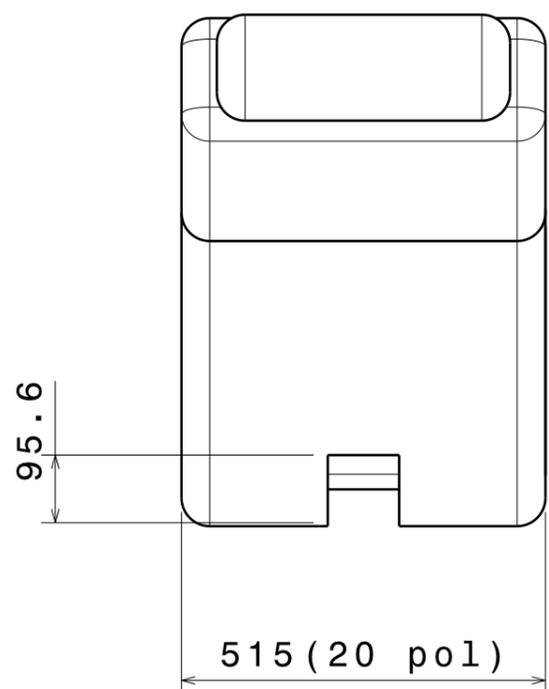
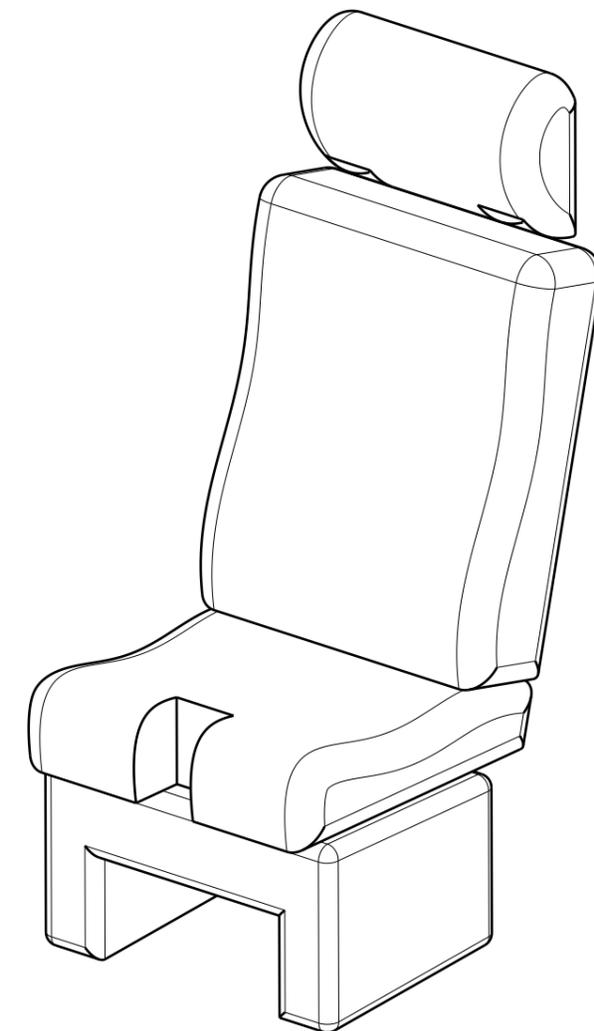
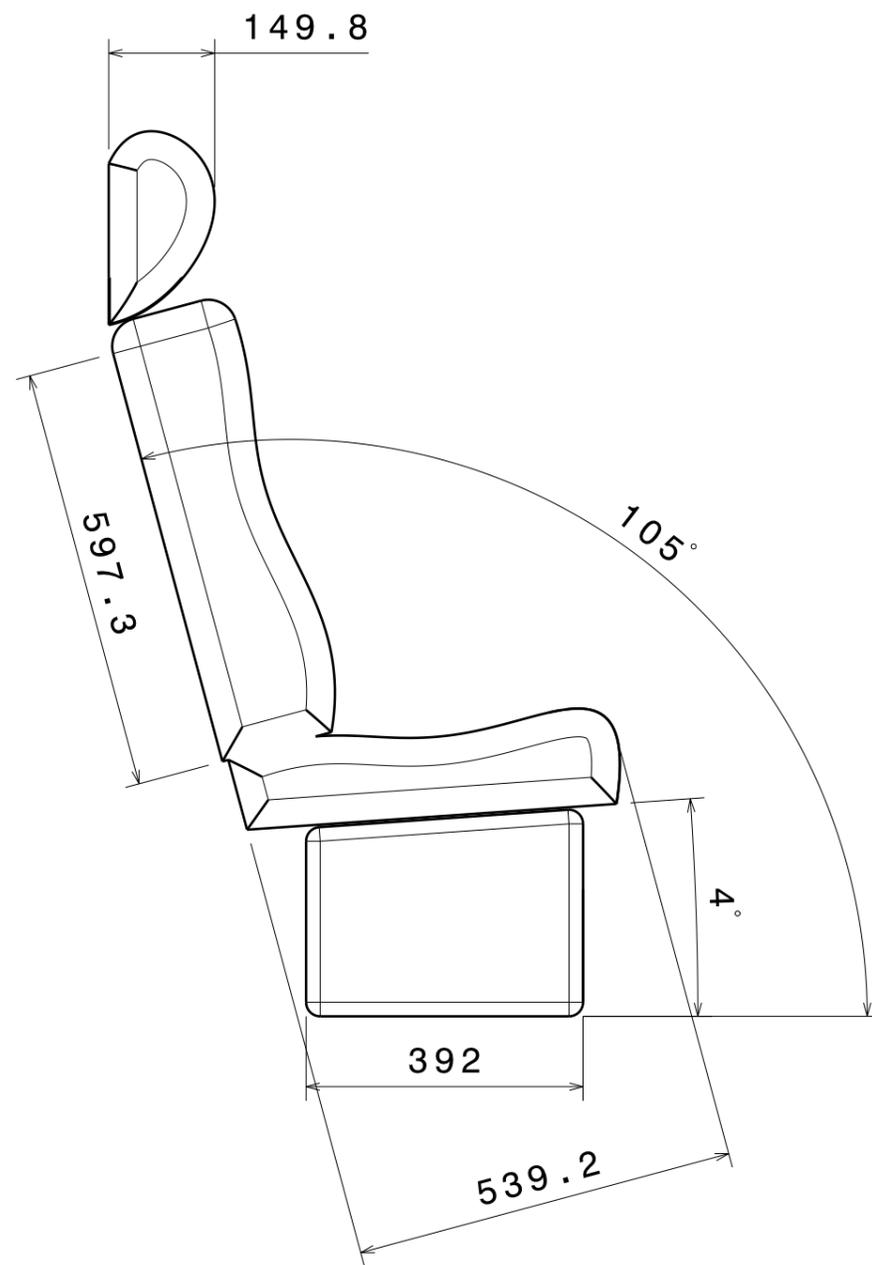
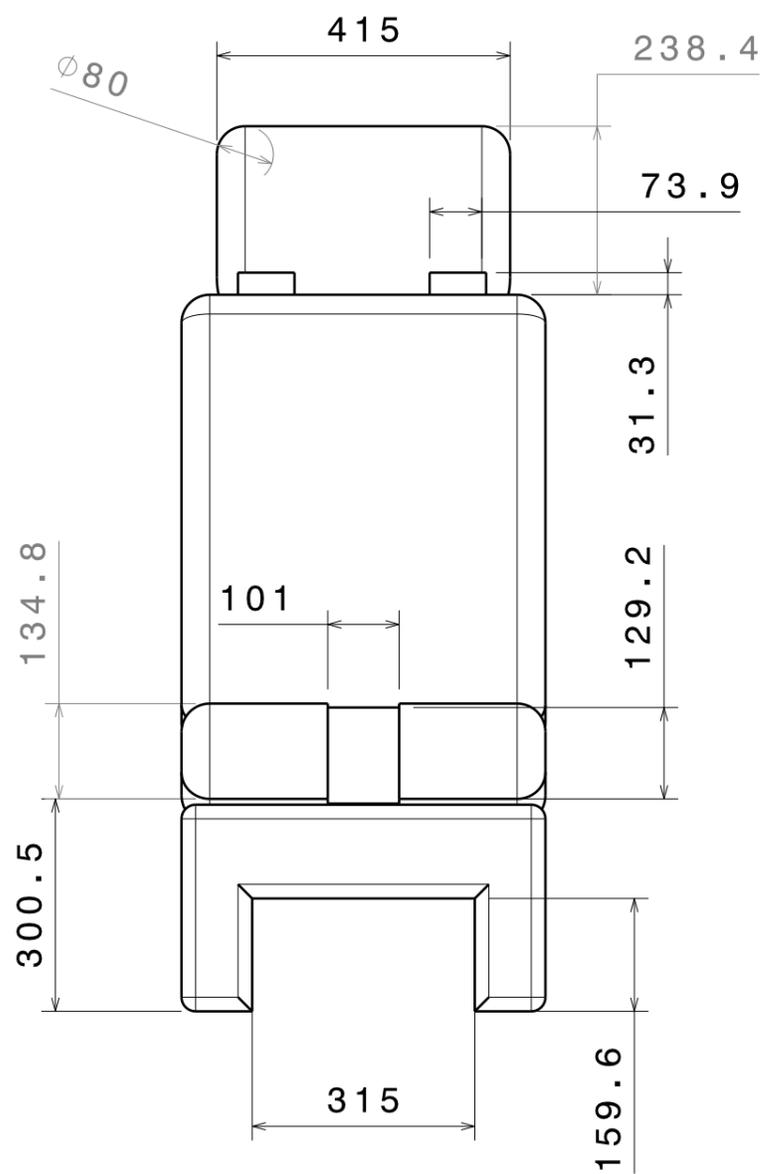
UnB	TCC	FGA
Escala <b>1:10</b>	Nome do Desenho <b>Poltrona</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutenberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>3/13</b>



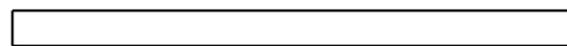
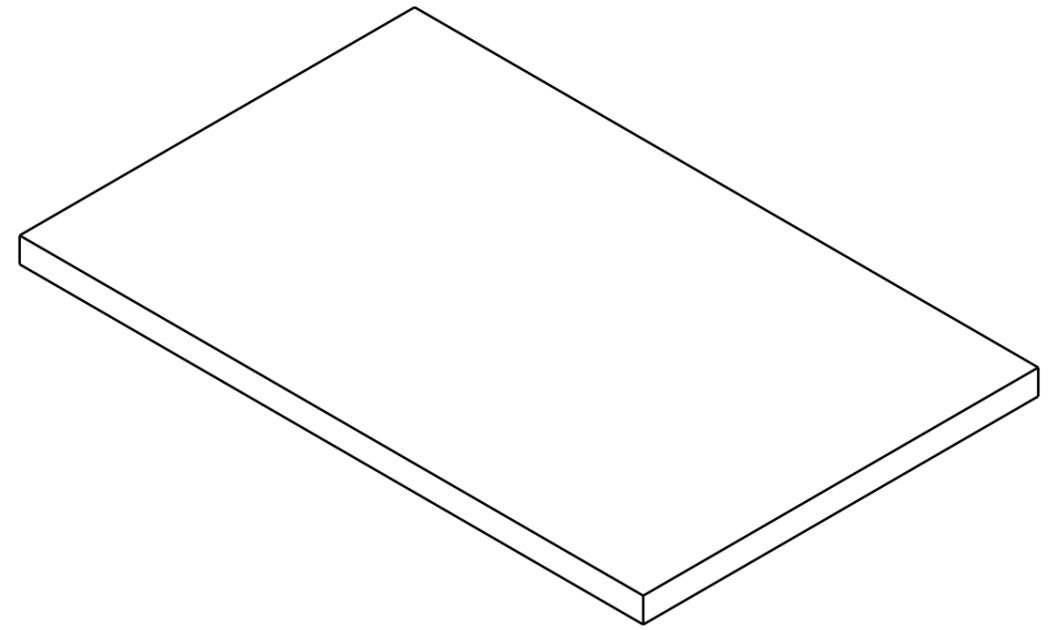
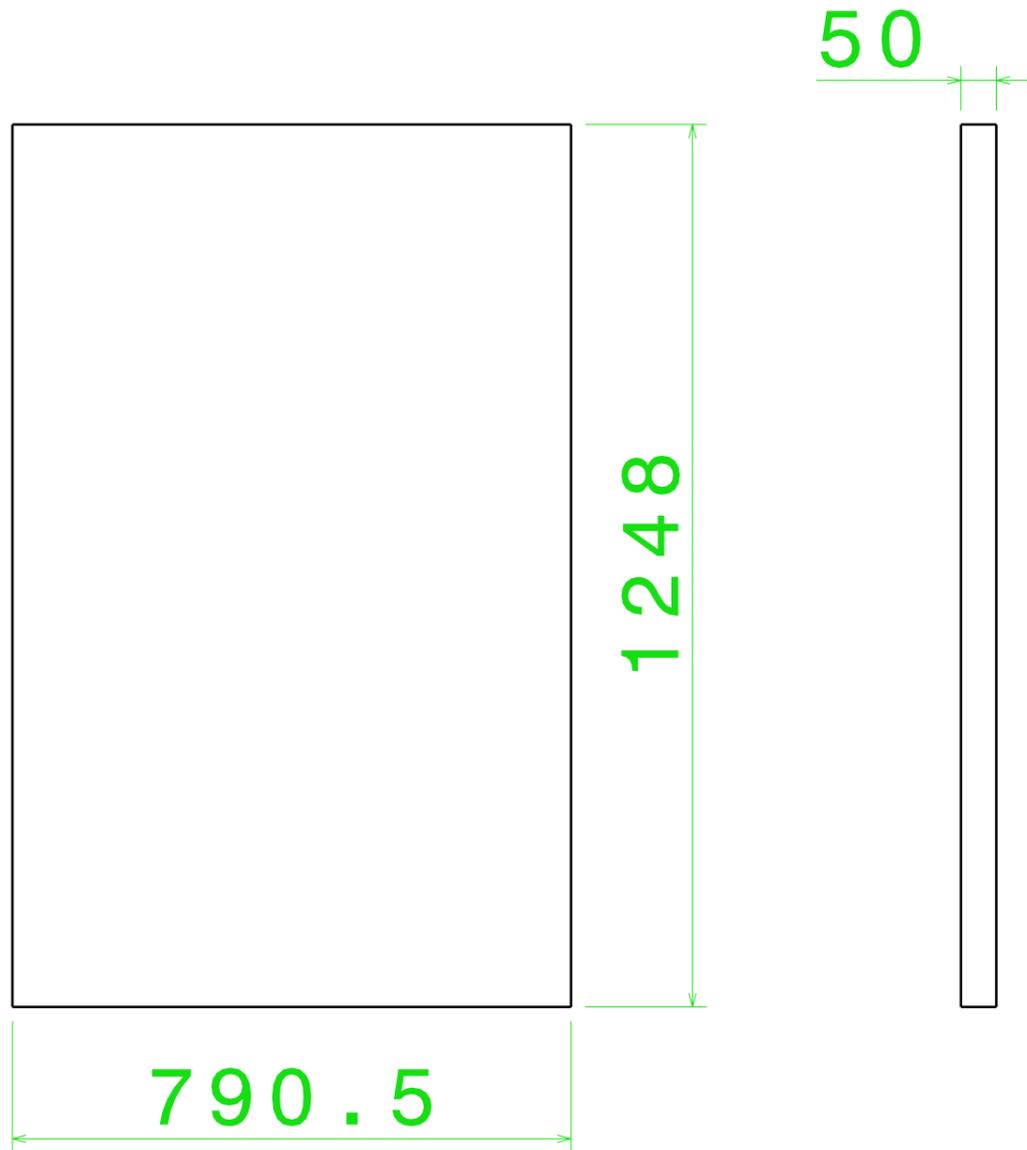
<b>UnB</b>	<b>TCC</b>	<b>FGA</b>
Escala <b>1:11</b>	Nome do Desenho <b>Poltrona de Jantar</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutemberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>4/13</b>

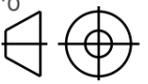


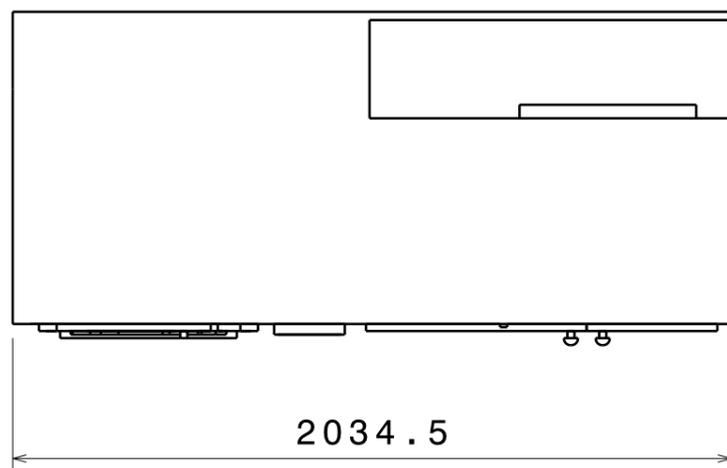
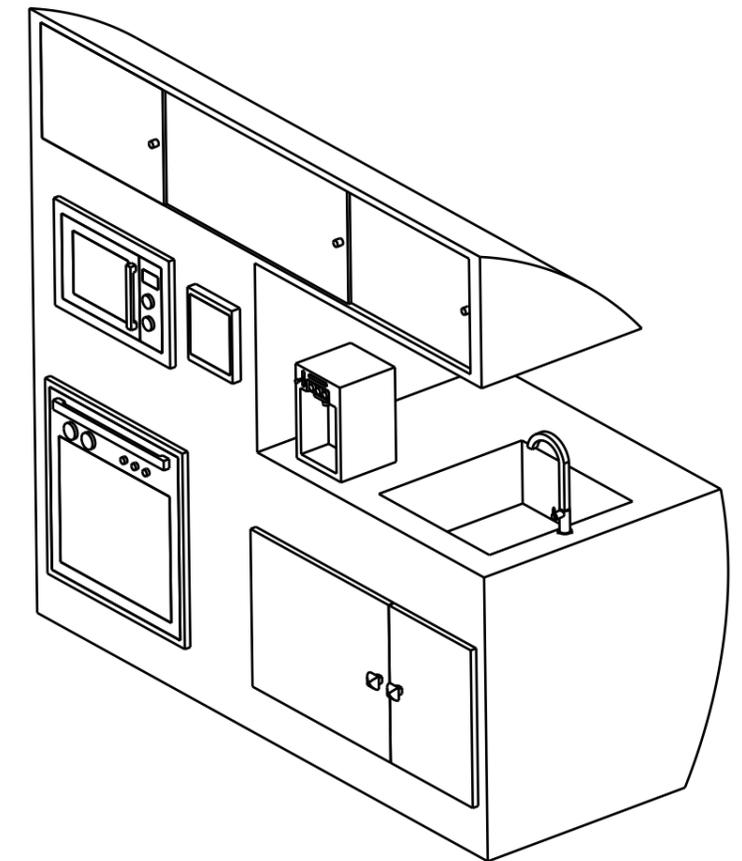
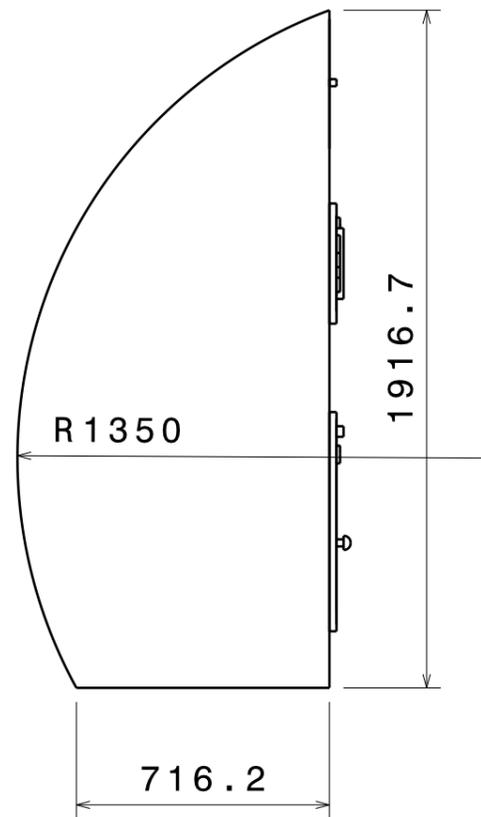
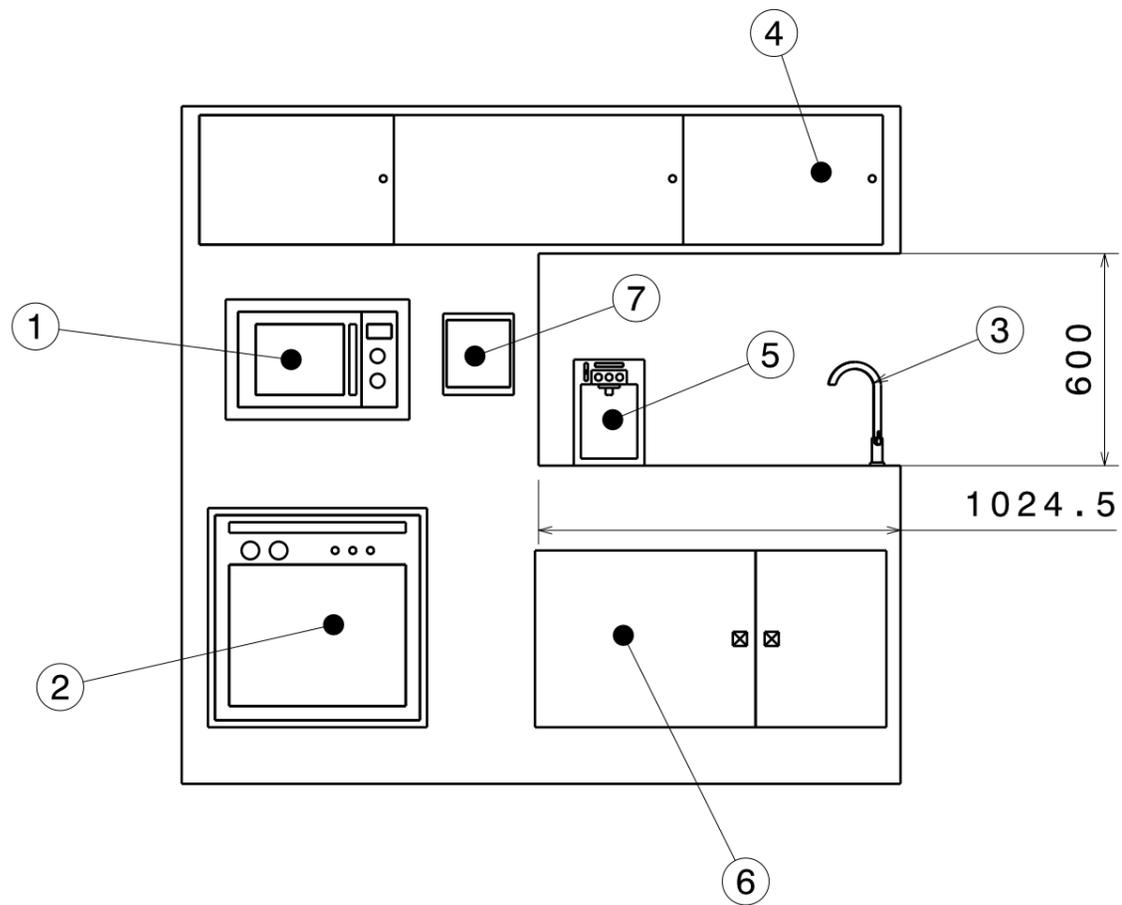
UnB	TCC	FGA
Escala <b>1:15</b>	Nome do Desenho <b>Divã</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutemberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>5/13</b>



UnB	TCC	FGA
Escala <b>1:10</b>	Nome do Desenho <b>Poltrona do cockpit</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutenberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>6/13</b>

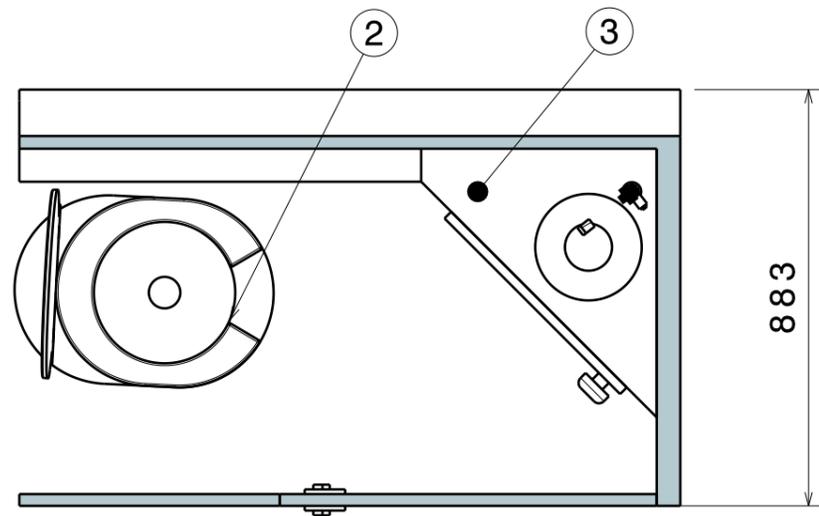
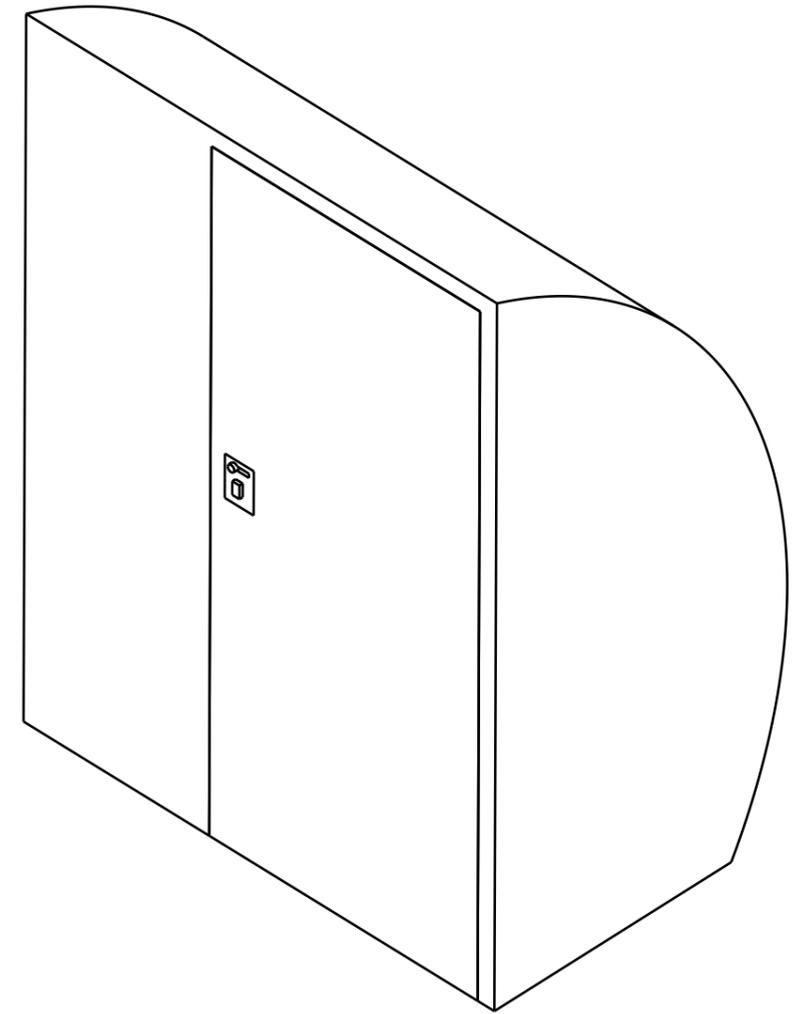
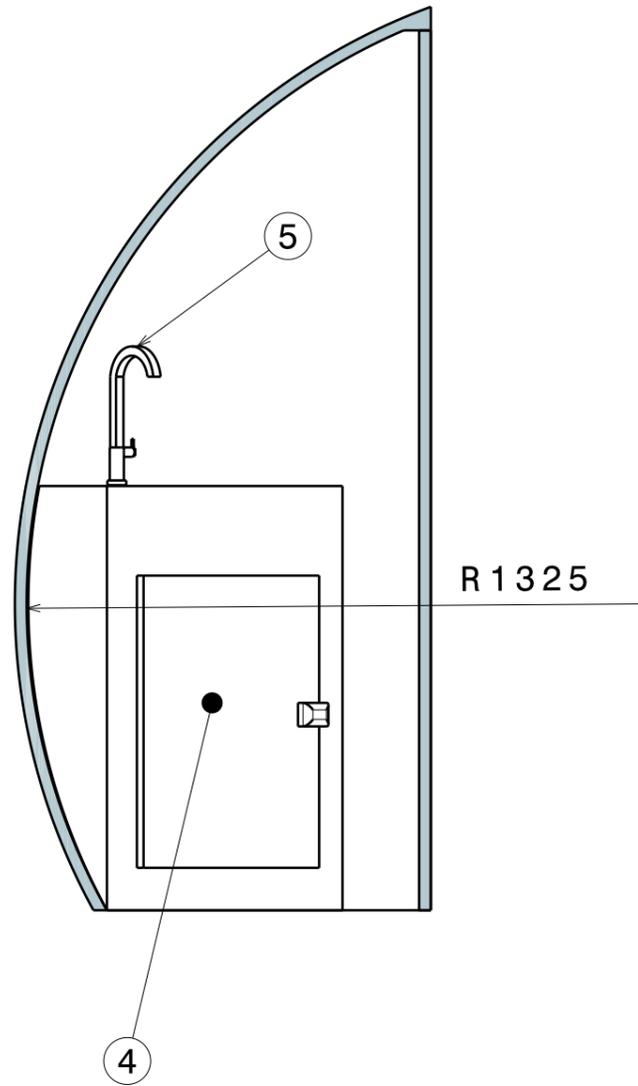
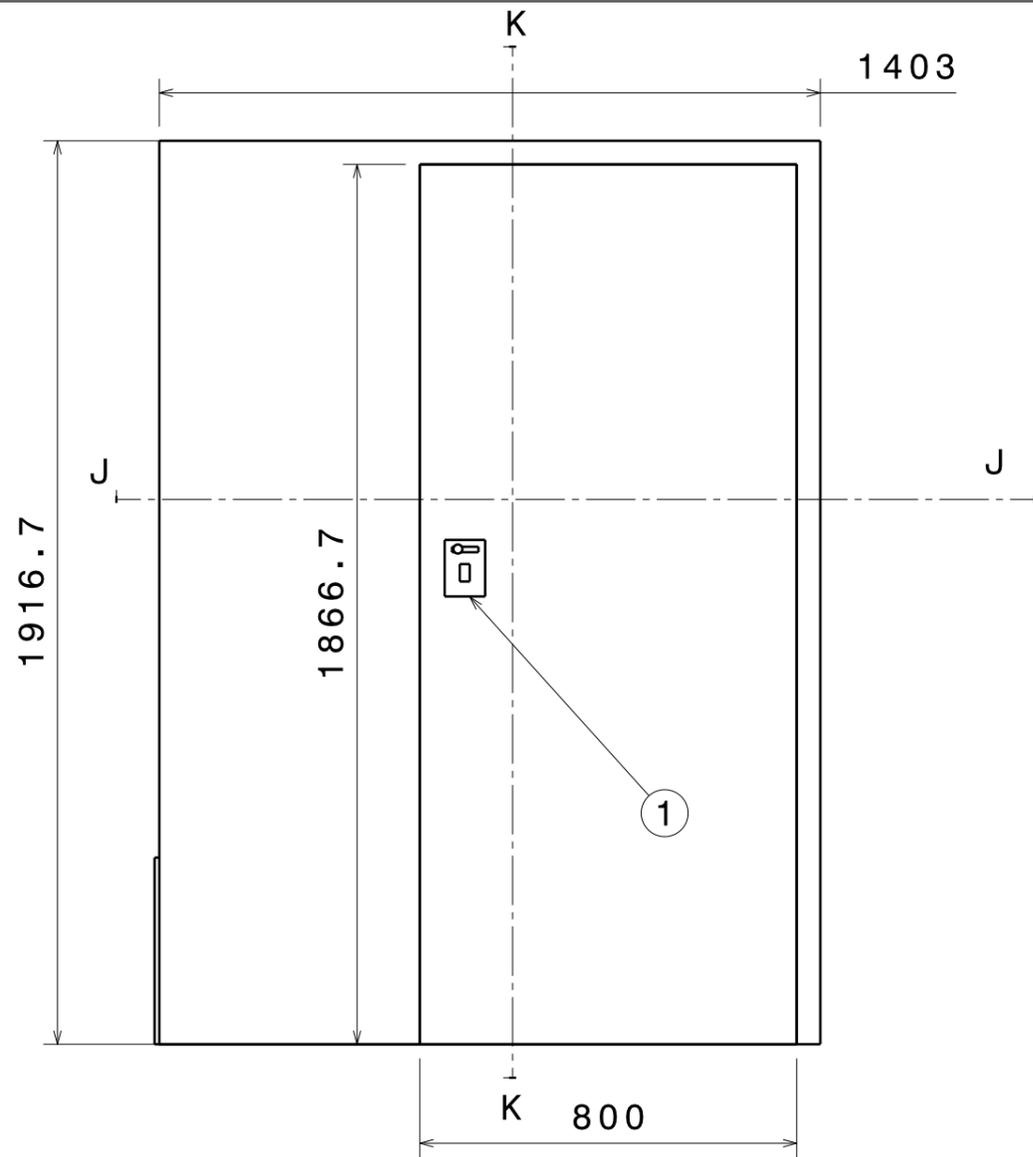


UnB	TCC	FGA
Escala <b>1:10</b>	Nome do Desenho <b>Mesa dupla</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutenberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>7/13</b>



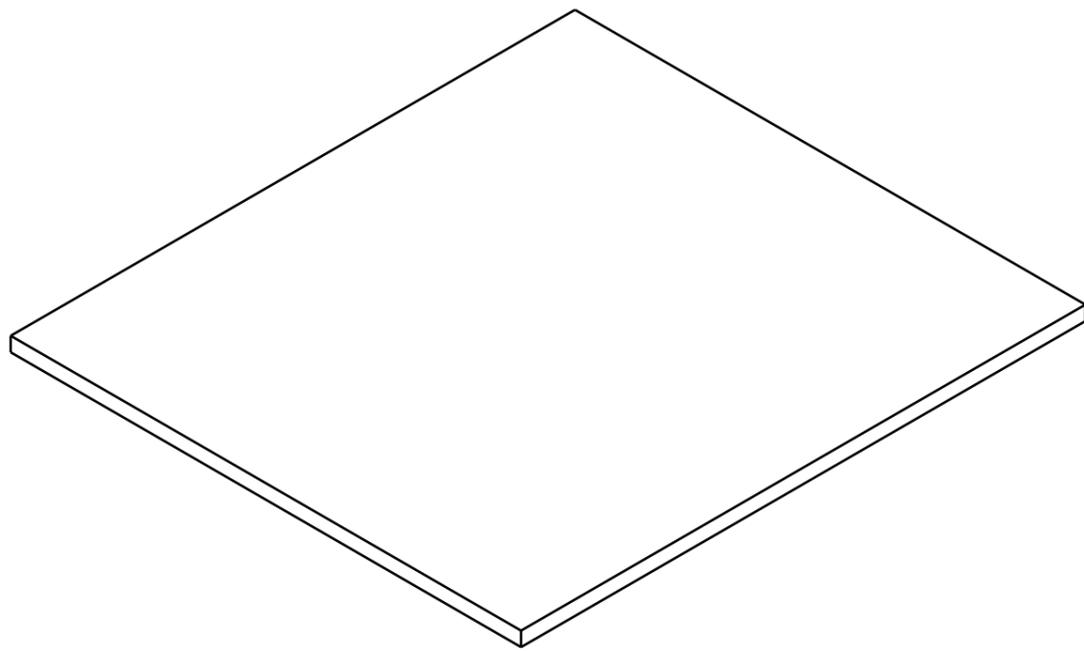
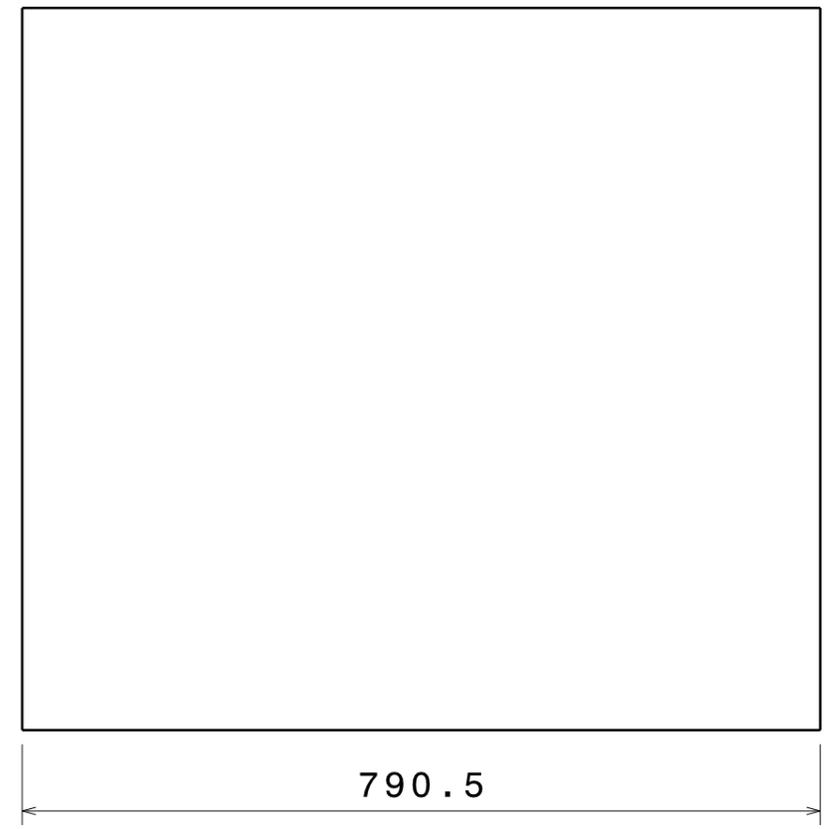
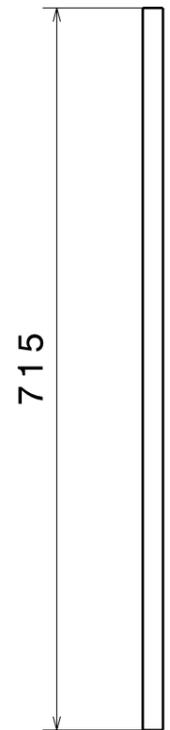
Número	Quantidade	Nome
1	1	Microondas
2	1	Forno
3	1	Torneira
4	3	Porta de vidro
5	1	Cafeteira
6	2	Porta do refrigerador
7	1	Controle touchscreen

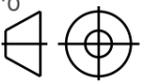
UnB	TCC	FGA
Escala <b>1:20</b>	Nome do Desenho <b>Galley</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutemberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>8/13</b>

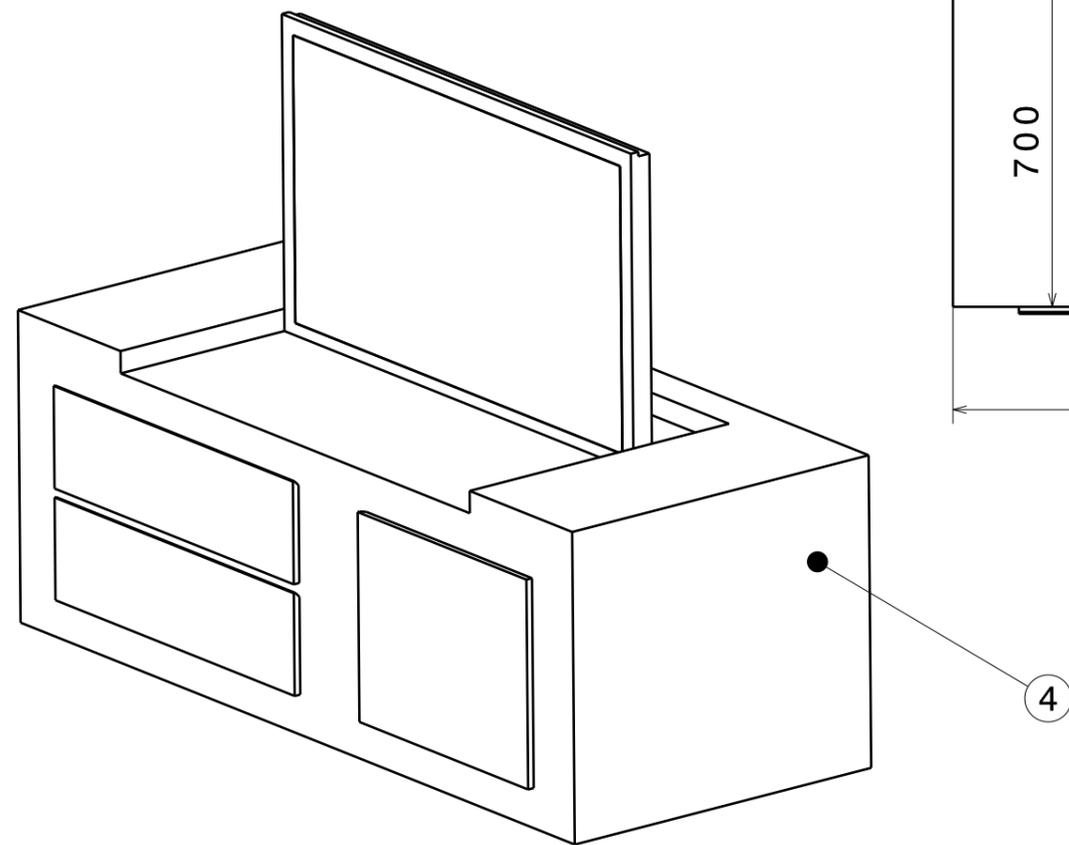
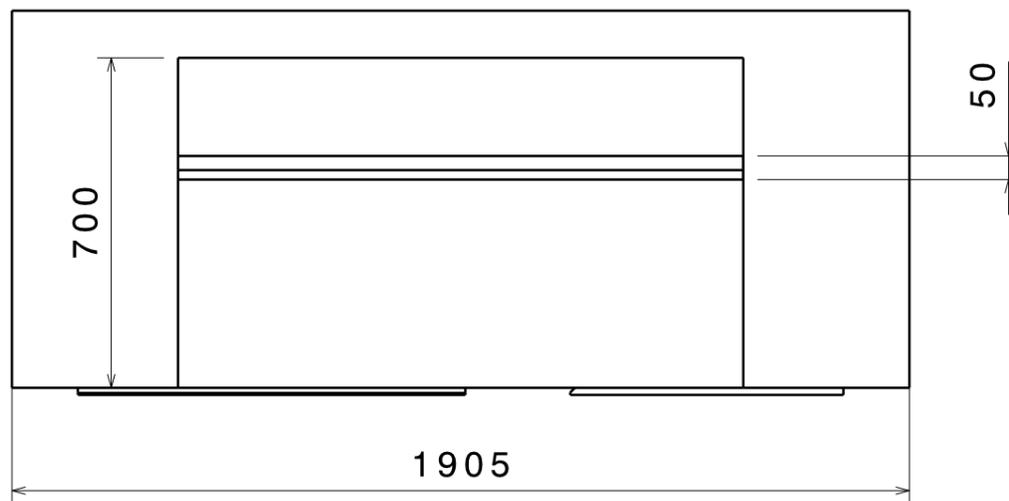
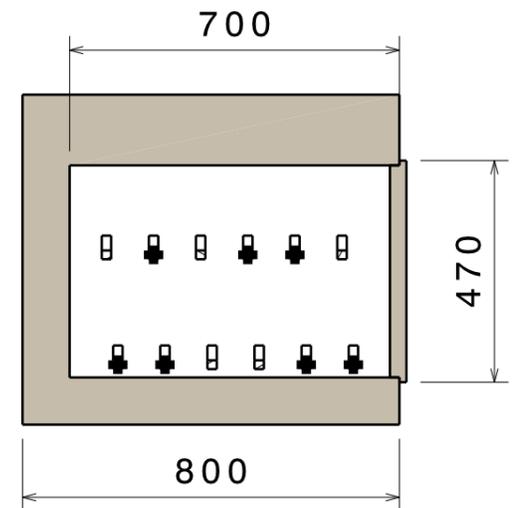
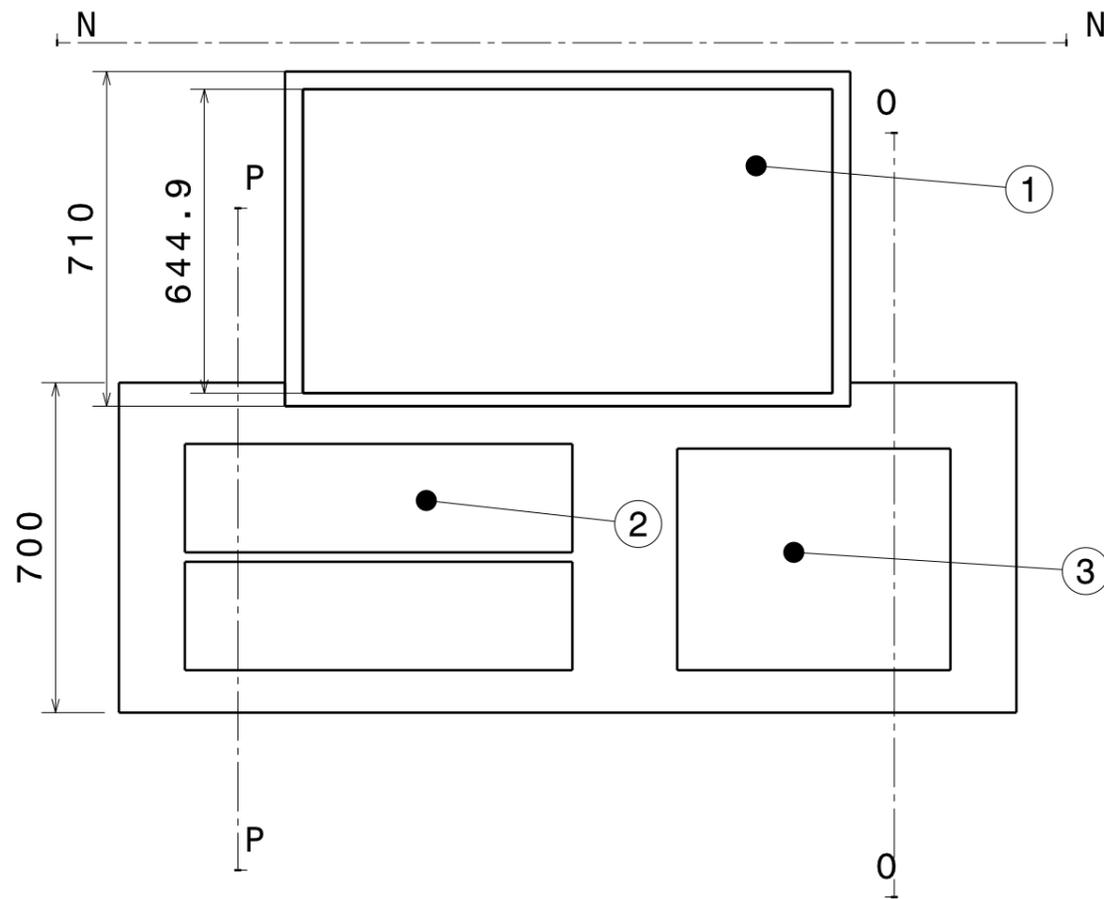
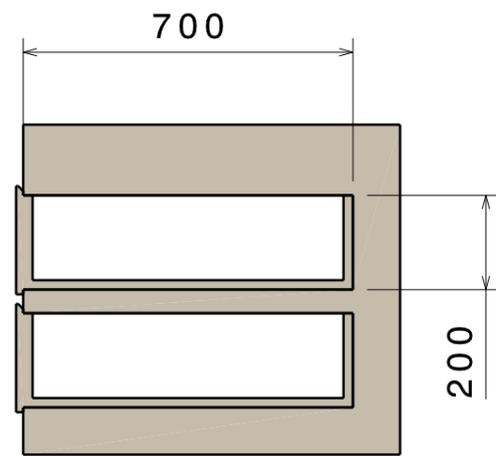


Número	Quantidade	Nome
1	1	Tranca da porta
2	1	Vaso sanitário
3	1	Bancada com pia
4	1	Porta do armário
5	1	Torneira

UnB	TCC	FGA
Escala 1:15	Nome do Desenho Lavatório dianteiro	Diedro 
Data 13/09/2024	Nome do Aluno / Matrícula Gutemberg/180113534	Folha N°/N° de folha 9/13

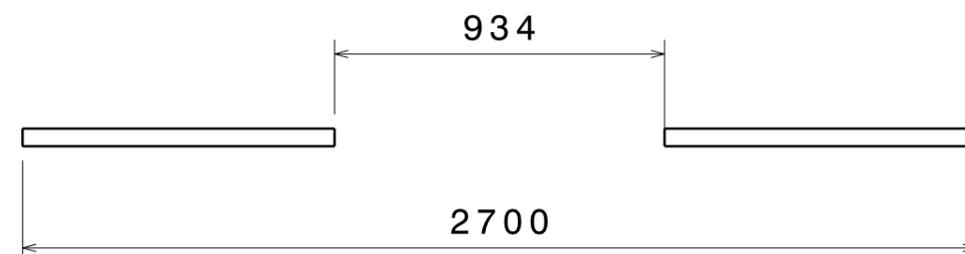
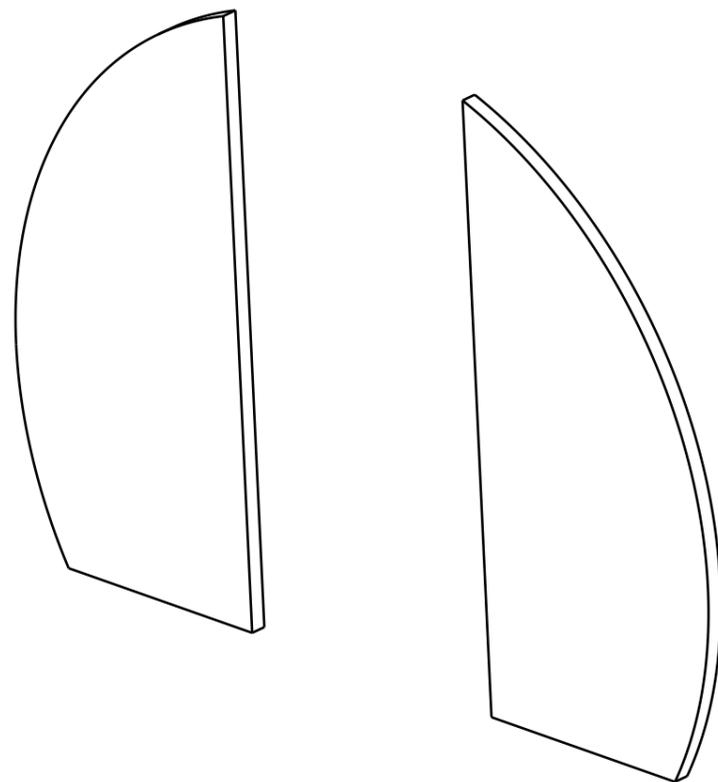
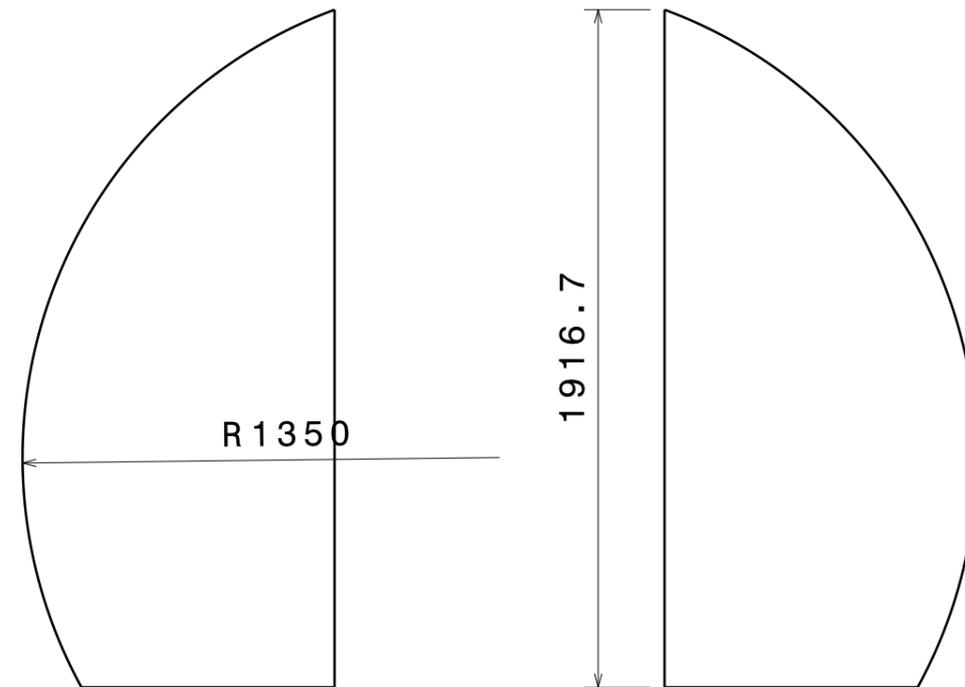
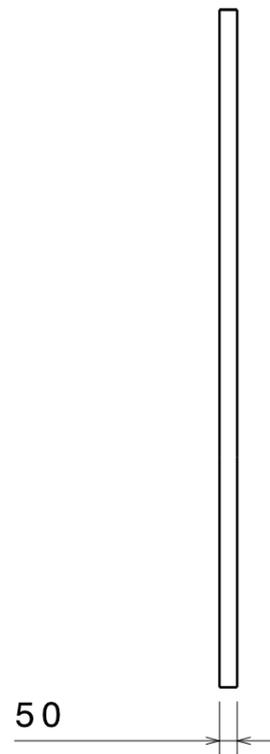


UnB	TCC	FGA
Escala 1:7	Nome do Desenho Mesa simples	Diedro 
Data 13/09/2024	Nome do Aluno / Matrícula Gutenberg/180113534	Folha N°/N° de folha 10/13

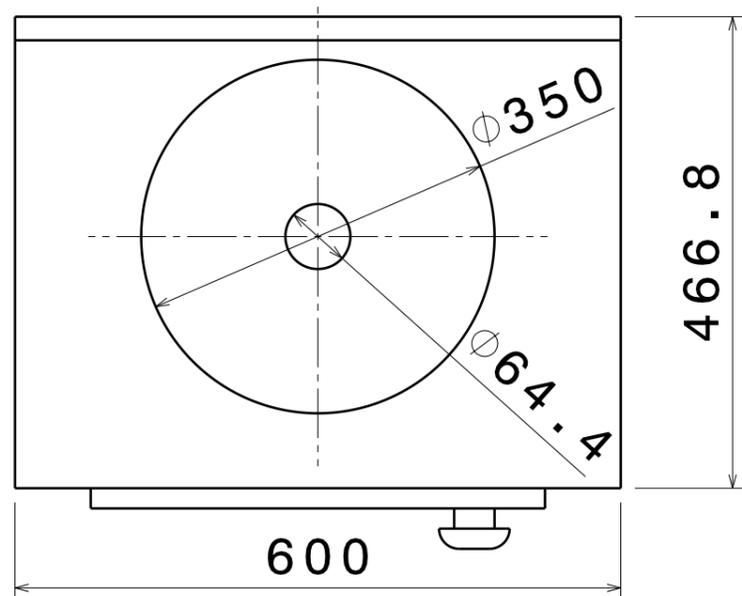
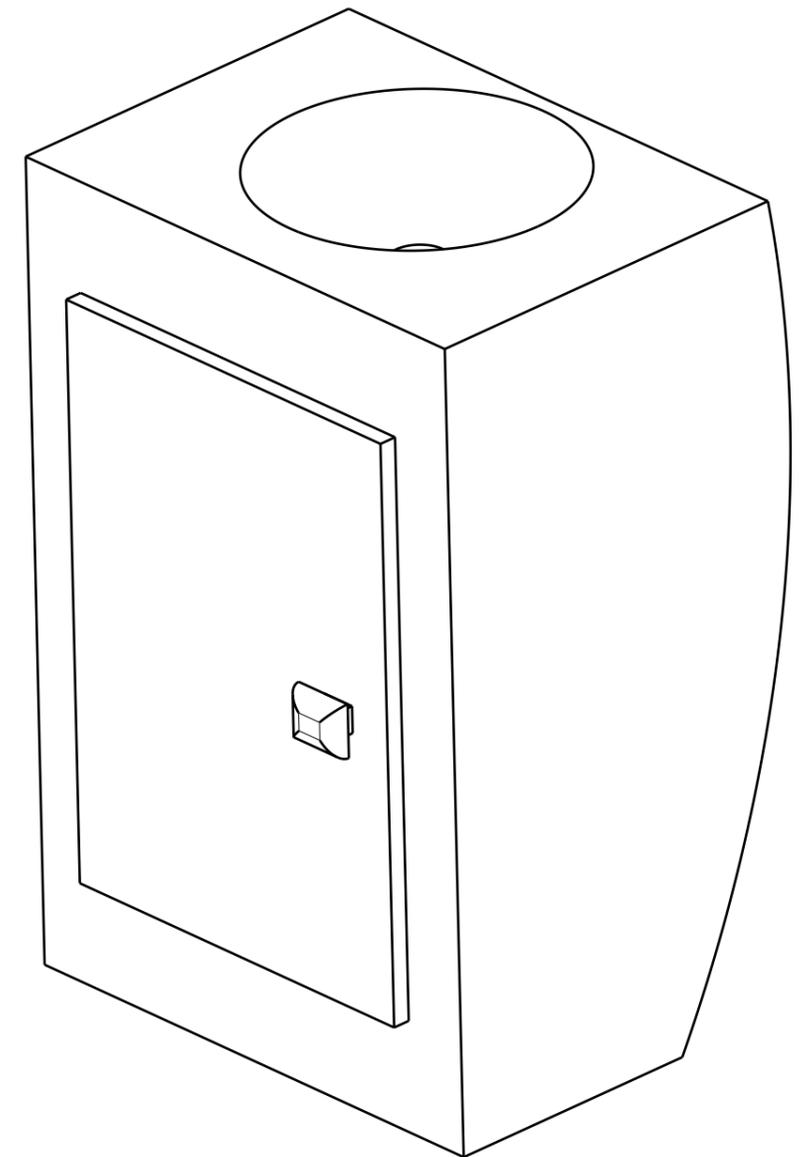
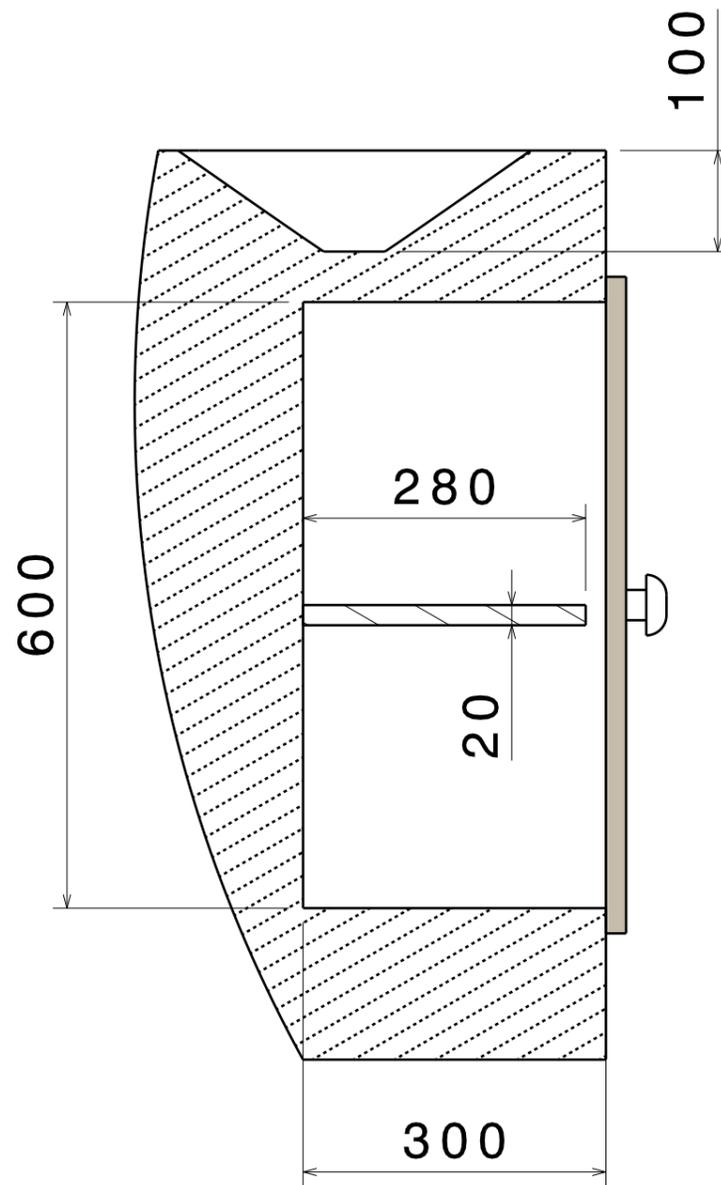
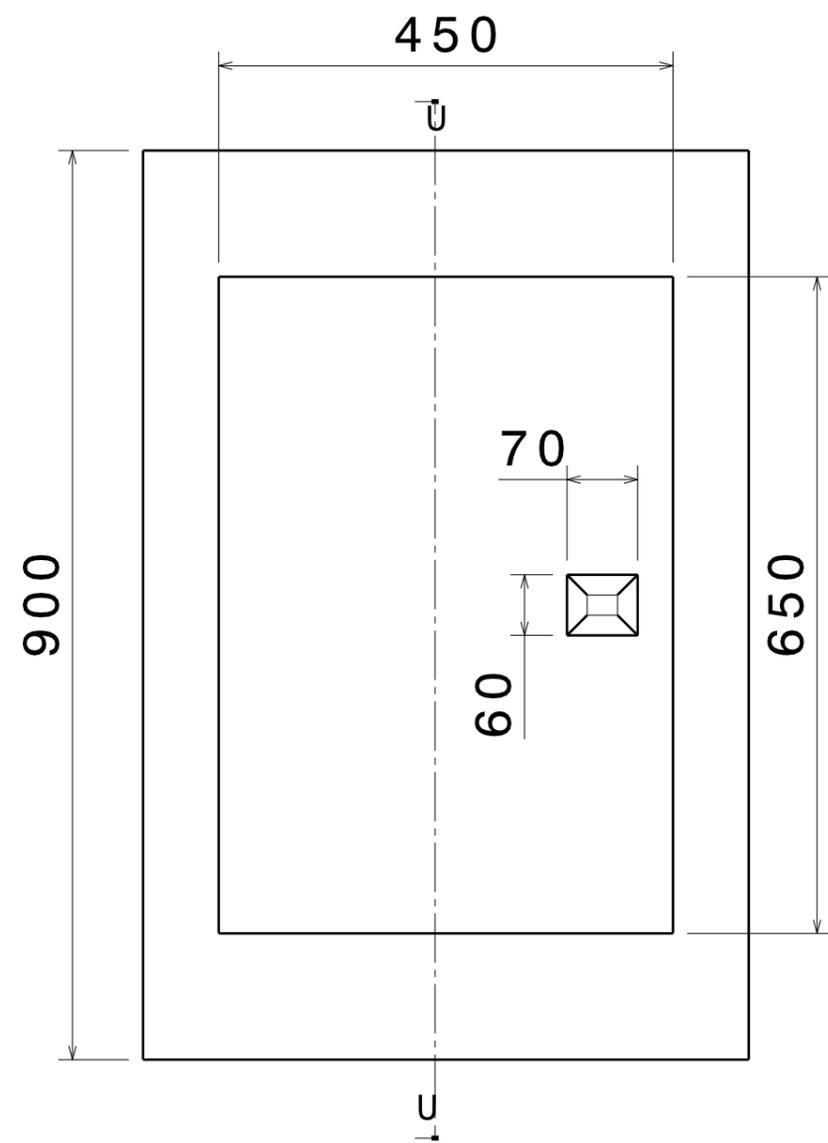


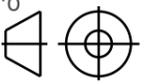
Número	Quantidade	Nome
1	1	Televisão
2	2	Gaveta
3	1	Adega
4	1	Aparador

UnB	TCC	FGA
Escala <b>1:15</b>	Nome do Desenho <b>Aparador</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutemberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>11/13</b>



<b>UnB</b>	<b>TCC</b>	<b>FGA</b>
Escala <b>1:20</b>	Nome do Desenho <b>Divisória</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutemberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>12/13</b>



UnB	TCC	FGA
Escala <b>1:7</b>	Nome do Desenho <b>Armário com pia</b>	Diedro 
Data <b>13/09/2024</b>	Nome do Aluno / Matrícula <b>Gutenberg/180113534</b>	Folha N°/N° de folha <b>13/13</b>

# Anexos

# ANEXO A – Dimensionamento de peso

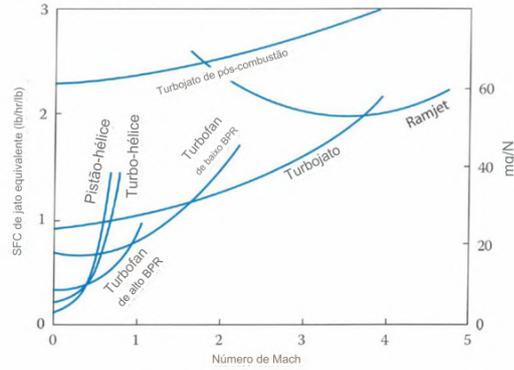


Figura 202 – SFC em relação ao número de mach. Fonte: (RAYMER, 2018).

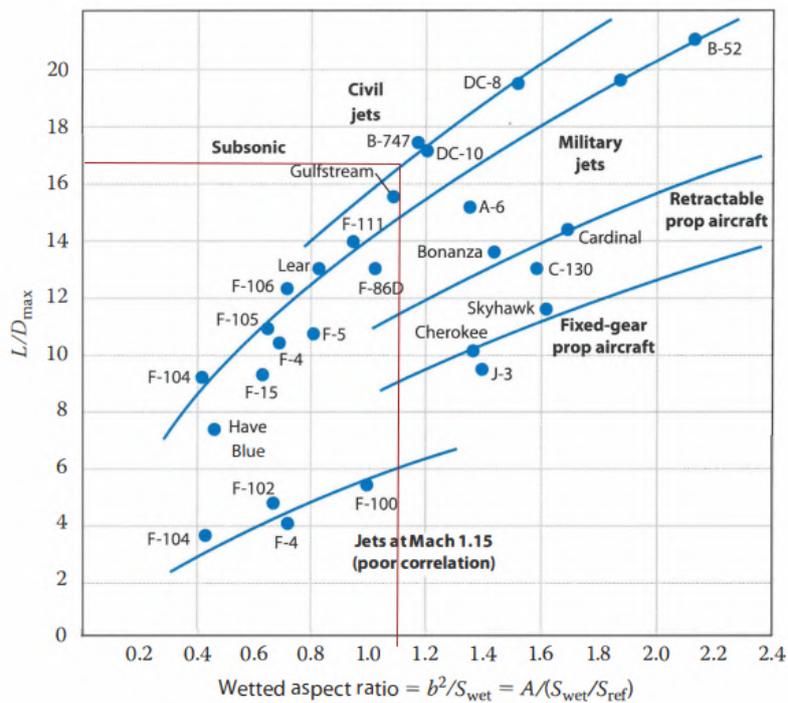


Figura 203 –  $L/D$  em relação à razão de aspecto molhada. Fonte: (RAYMER, 2018).

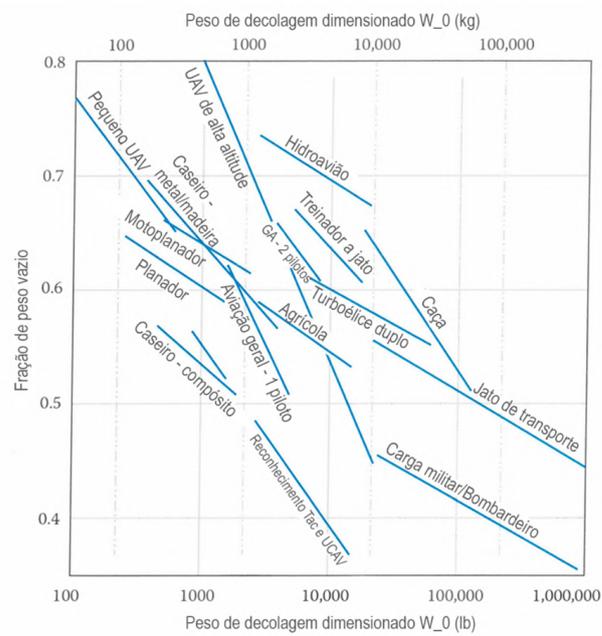


Figura 204 – Relação de peso vazio em relação ao peso total. Fonte: (RAYMER, 2018).

## ANEXO B – Geometria da asa

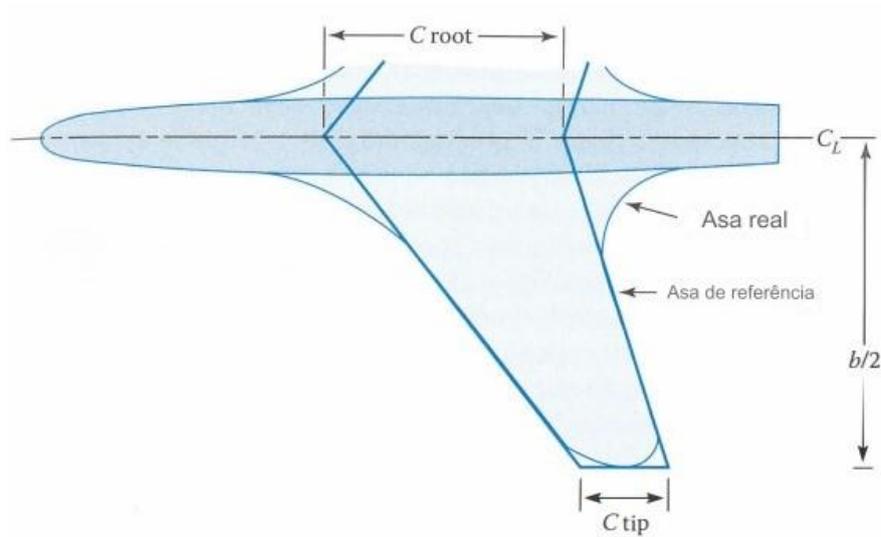


Figura 205 – Geometria da asa. Fonte: (RAYMER, 2018).

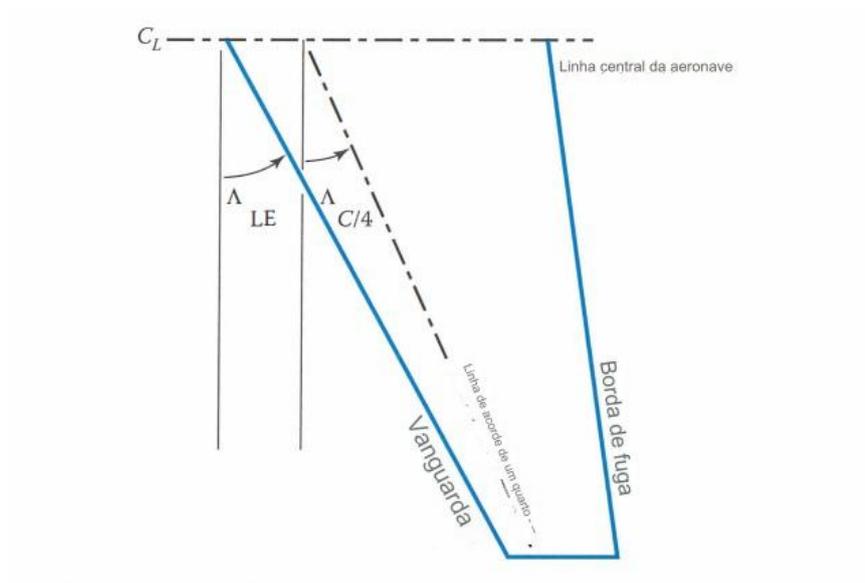


Figura 206 – Enflechamento da asa de forma teórica. Fonte: (RAYMER, 2018).

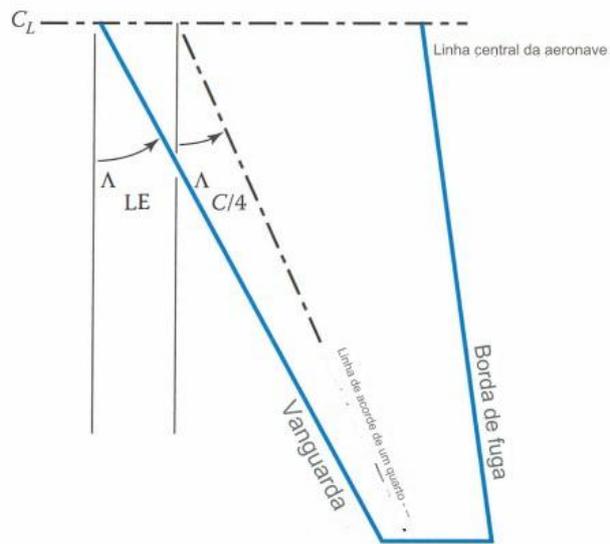


Figura 207 – Enflechamento da asa de forma teórica. Fonte: (RAYMER, 2018).

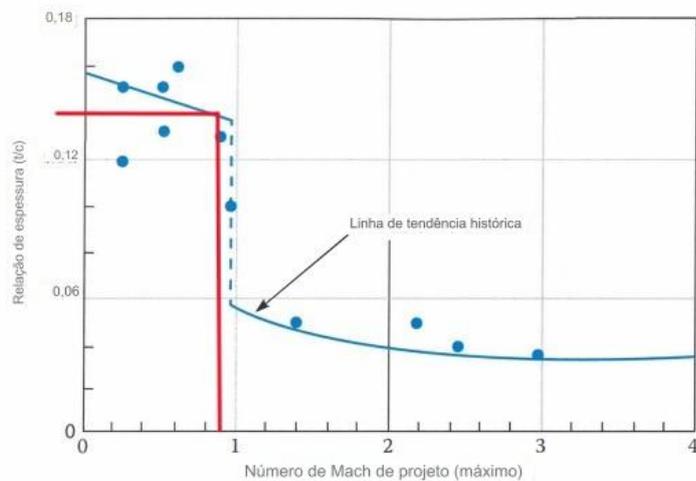


Figura 208 – Valores de razão de espessura versus o valor de máximo número de mach. Fonte: (RAYMER, 2018).

	Fighters		Transport & Bomber		General Aviation		Multiplier	Approximate Location
	lb/ft <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	lb/ft <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>	lb/ft <sup>2</sup>	kg/m <sup>2</sup>		
Wing	9	44	10	49	2.5	12	$S_{\text{exposed planform}}$	40% MAC
Horizontal tail	4	20	5.5	27	2	10	$S_{\text{exposed planform}}$	40% MAC
Vertical tail	5.3	26	5.5	27	2	10	$S_{\text{exposed planform}}$	40% MAC
Fuselage	4.8	23	5	24	1.4	7	$S_{\text{wetted area}}$	40–50% length
	Weight Ratio		Weight Ratio		Weight Ratio			
Landing gear*	0.033		0.043		0.057		TOGW	centroid
Landing gear—Navy	0.045		—		—		TOGW	centroid
Installed engine	1.3		1.3		1.4		Engine weight	centroid
*All-else empty	0.17		0.17		0.1		TOGW	40–50% length

Figura 209 – Valores aproximados de localização de pesos vazios. Fonte: (RAYMER, 2018).