

Memória de cálculo do arranjo estrutural

Saveiro Tradicional 12m · 12,00 m · madeira maciça · Teca · fundo de 32,0 mm · estrutura de 5.304 kg

Gerado em 07/10/2026 às 19:18 pelo painel de arranjo estrutural. Duas fontes de cálculo: ABS *Guide for Building and Classing Offshore Racing Yachts*, 1994, e Dave Gerr, *The Elements of Boat Strength*, com a cadeia de carga de impacto do paper IBEX 2010, sessão 501.

1 A embarcação

comprimento total L_{OA}	12,00 m	
comprimento na linha d'água L_{WL}	10,60 m	
boca máxima B_{OA}	4,00 m	
boca na linha d'água B_{WL}	3,33 m	
pontal D	2,19 m	
calado d	0,536 m	
deslocamento Δ	6,898 t	
ângulo de fundo	13,4°	
inclinação do espelho	25,5°	
velocidade máxima	7,9 nós	entrada do passo 3
Particulares de entrada		
comprimento de escantilhão $L = (L_{OA} + L_{WL}) \div 2$	11,300 m	ABS §2.1
carga básica $h = 3,0d + 0,14L + 1,62$	4,810 m	ABS Tab. 7.1
carga de projeto do convés $= 0,04L + 1,83$	2,282 m	ABS Tab. 7.1c
número de escantilhão $S_n = L_{OA} \times boca \times D \div 28,32$	3,202 (com 1-2 balanço longo e 1-3 flare pronunciado)	Gerr, livro · Fórmula 1-1
S_n do paper, em pés $= L \times B \times D \div 1000$	3,203	Gerr, IBEX p.5
teto de velocidade do método $= 45 - 0,33 \times S_n$	43,9 nós	Gerr, IBEX p.8
razão velocidade-comprimento $V \div \sqrt{L_{WL}}$	1,340	
fator de velocidade $f_V = (V \div V_{ref})^2$ ($V_{ref} = 29,9$ nós)	0,070	derivado — ver §12
razão deslocamento-comprimento D/L	161	faixa do livro: 100 a 275

Grandezas derivadas

2 O material

material	madeira maciça · Teca	
resistência última de referência	88,0 N/mm ²	ABS Tab. 4.4 · módulo de ruptura
escoamento	não se aplica	
tensão de projeto do chapeamento σ_a	35,2 N/mm ²	ABS Tab. 7.2 · tabuado liso, 0,4-MOR
tensão de projeto dos reforços	33,0 N/mm ²	ABS Tab. 8.2 · madeira não laminada, 0,375-MOR
módulo de elasticidade E	12.400 N/mm ²	
razão ruptura ÷ tensão de projeto	2,50	ver §12, sobre os dois FS
equação de chapeamento	7.5.1	ABS
arranjo estrutural previsto	transversal (ABS 8.3.2)	
largura efetiva de chapeamento no reforço	nenhuma	ABS §3.5
bitolas comerciais consideradas	12,0 · 16,0 · 19,0 · 22,0 · 25,0 · 28,0 · 32,0 · 38,0 · 44,0 · 50,0 · 60,0 mm	fora das fontes

3 O arranjo estrutural

espaçamento entre longitudinais, escolhido	315 mm	entrada do passo 4
espaçamento entre balizas, escolhido	280 mm	entrada do passo 4
balizas ao longo de L _{OA}	43 vãos de 279 mm	
vão da baliza, borda à quilha	2,462 m	ABS Fig. 8.1
longitudinais no fundo, por bordo	4 · painéis de 309 mm	
longitudinais no costado, por bordo	3 · painéis de 308 mm	
longitudinais no convés, por bordo	6 · painéis de 286 mm	
grade do espelho de popa	8 × 3 painéis de 313 × 284 mm	

REGIÃO	ARESTA CURTA S MM	ARESTA LONGA ℓ MM	ℓ/S	K	QUEM É A ARESTA CURTA
Fundo	279	309	1,11	0,500	o cavernamento
Costado	279	308	1,10	0,500	o cavernamento
Espelho de popa	284	313	1,10	0,500	a grade do espelho
Convés	279	286	1,03	0,500	o cavernamento

O painel de cada região, e qual aresta manda

4 A conta, região por região

Fundo

carga de projeto h	5,77 m de coluna d'água	ABS Tab. 7.1 · 7.1a
estação da carga governante	X = 7,60 m da popa, z = 0,12 m	
painel	279 × 309 mm	

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · FUNDO equação 7.5.1		
1	carga de projeto	5,77 m Tabela 7.1
2	tensão de projeto = 0,40 × 88	35,2 N/mm ² Tabela 7.2
3	fator de escala do tabuado = 1,09 × 4,2 - 1,13 × ⁴ √11,30	2,320 equação 7.5.1
4	espaçamento das cavernas	279 mm
= t = 2,320 × 279 × √(0,001 × 5,77 ÷ 3,59)		25,96 mm

pressão de pico $P_i = 16,0 + 0,078 \cdot L_{WL} + 0,0487 \cdot \Delta$	19,04 psi	Hendrickson & Spencer · IBEX p.25
área de referência $A_r = 25 \cdot (\Delta \div d) \cdot 144$	13.899 pol ²	IBEX p.26
área do painel A_d	133,6 pol ²	
razão $A_d \div A_r$	0,0096	
redução de área $f_d = 0,14 \cdot (A_d/A_r)^{-0,285}$	0,526	Koelbel · IBEX p.26 · limitada a 0,14–0,70
fator de velocidade f_v	0,070	derivado — ver §12
pressão de projeto $P_d = f_v \cdot f_d \cdot P_i$	0,70 psi = 0,0048 N/mm ²	
parâmetro de membrana $A = (P_d/E) \cdot (b/t)^4$	0,0	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente $C = \min(A/2 ; 1,912 + 0,383A - A^2/1922)$	0,001 · manda a flexão, A/2	polinômio na p.28 do IBEX; o ramo A/2 é deste painel — ver §12
tensão de membrana $\sigma = C \cdot E \cdot (t/b)^2$	0,2 N/mm ²	
flecha δ	0,00 mm · b/δ = 136.588:1	admissível 50:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	480,79 · alvo 1,5 · passa	carga dinâmica · IBEX p.29
espessura que esta carga exigiria	0,62 mm · governa flecha 50:1	

Verificação pela cadeia de carga de impacto

exigido pelo ABS	25,96 mm	equação 7.5.1
exigido pela carga de impacto	0,62 mm	
espessura governante	25,96 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	28,0 mm	
espessura adotada	32,0 mm · folga de 23%	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	23,2 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	3,80 · mínimo embutido na norma 2,50	razão calculada — ver §12

Resultado da região

Costado

carga de projeto h	5,77 m de coluna d'água	ABS Tab. 7.1 · 7.1a
estação da carga governante	X = 7,60 m da popa, z = 0,56 m	
painel	279 × 308 mm	

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · COSTADO equação 7.5.1		
1	carga de projeto	5,77 m Tabela 7.1
2	tensão de projeto = 0,40 × 88	35,2 N/mm ² Tabela 7.2
3	fator de escala do tabuado = 1,09 × 4,2 - 1,13 × ⁴ √11,30	2,320 equação 7.5.1
4	espaçamento das cavernas	279 mm
= t = 2,320 × 279 × √(0,001 × 5,77 ÷ 3,59)		25,96 mm

pressão de projeto, emprestada da carga estática do ABS	8,37 psi = 0,0577 N/mm ²	ABS Tab. 7.1
por que emprestada	o paper dá o critério de FS e de flecha para todas as regiões, mas só dá fórmula de pressão para o fundo	ver §12
parâmetro de membrana A = (P _d /E)·(b/t) ⁴	0,1	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente C = min(A/2 ; 1,912 + 0,383A - A²/1922)	0,036 · manda a flexão, A/2	polinômio na p.28 do IBEX; o ramo A/2 é deste painel – ver §12
tensão de membrana σ = C·E·(t/b)²	3,6 N/mm ²	
flecha δ	0,05 mm · b/δ = 5.431:1	admissível 100:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	24,47 · alvo 3,0 · passa	carga estática · IBEX p.29

Verificação pela cadeia de carga de impacto

exigido pelo ABS	25,96 mm	equação 7.5.1
exigido pela carga de impacto	só verificação, ver acima	
espessura governante	25,96 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	28,0 mm	
espessura adotada	25,0 mm · abaixo do exigido	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	38,0 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	2,32 · mínimo embutido na norma 2,50	razão calculada – ver §12

Resultado da região

Espelho de popa

carga de projeto h	2,53 m de coluna d’água	ABS Tab. 7.1 · 7.1b
estação da carga governante	X = 0,00 m da popa, z = 0,79 m	
painel	284 × 313 mm	

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · ESPELHO DE POPA equação 7.5.1		
1	carga de projeto	2,53 m Tabela 7.1
2	tensão de projeto = 0,40 × 88	35,2 N/mm ² Tabela 7.2
3	fator de escala do tabuado = 1,09 × 4,2 - 1,13 × ⁴ √11,30	2,320 equação 7.5.1
4	espaçamento das cavernas	284 mm
= t = 2,320 × 284 × √(0,001 × 2,53 ÷ 3,59)		17,49 mm

pressão de projeto, emprestada da carga estática do ABS	3,67 psi = 0,0253 N/mm ²	ABS Tab. 7.1
por que emprestada	o paper dá o critério de FS e de flecha para todas as regiões, mas só dá fórmula de pressão para o fundo	ver §12
parâmetro de membrana $A = (P_d/E) \cdot (b/t)^4$	0,2	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente $C = \min(A/2 ; 1,912 + 0,383A - A^2/1922)$	0,101 · manda a flexão, A/2	polinômio na p.28 do IBEX; o ramo A/2 é deste painel – ver §12
tensão de membrana $\sigma = C \cdot E \cdot (t/b)^2$	4,0 N/mm ²	
flecha δ	0,09 mm · $b/\delta = 3.084:1$	admissível 100:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	22,09 · alvo 3,0 · passa	carga estática · IBEX p.29
Verificação pela cadeia de carga de impacto		
exigido pelo ABS	17,49 mm	equação 7.5.1
exigido pela carga de impacto	só verificação, ver acima	
espessura governante	17,49 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	19,0 mm	
espessura adotada	16,0 mm · abaixo do exigido	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	42,0 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	2,09 · mínimo embutido na norma 2,50	razão calculada – ver §12

Resultado da região

Convés

carga de projeto h	2,28 m de coluna d'água	ABS Tab. 7.1 · 7.1c
estação da carga governante	X = 5,46 m da popa, z = 1,56 m	
painel	279 × 286 mm	

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · CONVÉS equação 7.5.1		
1	carga de projeto	2,28 m Tabela 7.1
2	tensão de projeto = 0,40 × 88	35,2 N/mm² Tabela 7.2
3	fator de escala do tabuado = 1,09 × 4,2 – 1,13 × ⁴ √11,30	2,320 equação 7.5.1
4	espaçamento das cavernas	279 mm
=	t = 2,320 × 279 × √(0,001 × 2,28 ÷ 3,59)	16,32 mm

pressão de projeto, emprestada da carga estática do ABS	3,31 psi = 0,0228 N/mm ²	ABS Tab. 7.1
por que emprestada	o paper dá o critério de FS e de flecha para todas as regiões, mas só dá fórmula de pressão para o fundo	ver §12
parâmetro de membrana $A = (P_d/E) \cdot (b/t)^4$	0,2	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente $C = \min(A/2 ; 1,912 + 0,383A - A^2/1922)$	0,085 · manda a flexão, A/2	polinômio na p.28 do IBEX; o ramo A/2 é deste painel — ver §12
tensão de membrana $\sigma = C \cdot E \cdot (t/b)^2$	3,5 N/mm ²	
flecha δ	0,08 mm · $b/\delta = 3.601:1$	admissível 100:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	25,35 · alvo 3,0 · passa	carga estática · IBEX p.29
Verificação pela cadeia de carga de impacto		
exigido pelo ABS	16,32 mm	equação 7.5.1
exigido pela carga de impacto	só verificação, ver acima	
espessura governante	16,32 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	19,0 mm	
espessura adotada	16,0 mm · abaixo do exigido	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	36,6 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	2,40 · mínimo embutido na norma 2,50	razão calculada — ver §12

Resultado da região

5 Quadro-resumo do chapeamento

REGIÃO	CARGA M	PAINEL MM	EXIGIDA MM	ADOTADA MM	FS REGRA	FS IMPACTO	ÁREA M ²	MASSA KG
Fundo	5,77	279 × 309	25,96	32,0	3,80	480,79	28,45	573,6
Costado	5,77	279 × 308	25,96	25,0	2,32	24,47	27,31	430,1
Espelho de popa	2,53	284 × 313	17,49	16,0	2,09	22,09	1,65	16,7
Convés	2,28	279 × 286	16,32	16,0	2,40	25,35	38,39	387,0
total							95,80	1.407,3

Massa pela densidade de 630 kg/m³ — massa específica da Tabela 4.4 do ABS. Só o chapeamento: reforços, anteparas e acessórios não entram. Fora do fundo as duas colunas de FS costumam coincidir: ali a verificação de impacto usa a mesma carga do ABS e o painel ainda está em regime de flexão — a §12 explica.

6 Reforços: o módulo de seção exigido

REFORÇO	C	F _I	H M	S M	ℓ M	SM ABS CM ³	SM GERR CM ³	SM EXIGIDO CM ³	SEÇÃO PROPOSTA
Longitudinal do fundo	817	0,974	5,62	0,309	0,279	3,35	0,16	3,35	sicorda 25 × 35 mm
Longitudinal do costado	817	0,974	5,62	0,308	0,279	3,34	3,94	3,94	sicorda 25 × 35 mm
Longitudinal do convés	817	0,990	2,26	0,286	0,279	1,25	1,45	1,45	escoa 15 × 25 mm
Baliza · caverna do costado	817	0,250	1,44	0,279	2,462	60,42	17,34	60,42	caverna 55 × 85 mm
Hastilha na linha de centro	1.800	0,250	1,44	0,279	2,462	133,12	17,34	133,12	hastilha 70 × 115 mm
Vau do convés	817	0,330	0,75	0,279	4,000	83,25	289,47	289,47	vau 90 × 145 mm
Reforço vertical do espelho	817	0,483	1,22	0,313	0,852	6,86	16,32	16,32	prumo 35 × 55 mm

SM pelo ABS §8.1.3: $SM = C \cdot h \cdot S \cdot \ell^2 \div \sigma_a$, com $\sigma_a = 33,0$ N/mm² da Tabela 7.2. SM por Gerr: viga bi-engastada $M = W \cdot \ell^2 / 12$, ou $W \cdot \ell^2 / 8$ em caverna e hastilha, com a pressão de impacto e o FS alvo da região (IBEX p.27). Vale o maior dos dois. A seção proposta é dimensionada por este painel e não é seção normalizada de nenhuma das fontes.

7 Os perfis escolhidos

REFORÇO	SEÇÃO	PERFIL ESCOLHIDO	SM EXIGIDO CM³	SM DA SEÇÃO CM³	FOLGA	ALTURA MM	KG/M	PEÇAS	TOTAL M	MASSA KG
Longitudinal do fundo		alma de 19 × 75 com chapuz 40 × 19 mm	3,3	20,8	621%	94	1,38	8	103,1	141,9
Longitudinal do costado		alma de 19 × 150 com chapuz 40 × 19 mm	3,9	81,9	2.081%	169	2,27	6	73,9	168,1
Longitudinal do convés		alma de 19 × 75 com chapuz 50 × 19 mm	1,4	27,0	1.872%	94	1,50	12	144,6	216,4
Baliza · caverna do costado		peça de 38 × 225 mm	60,4	262,3	434%	225	5,39	84	97,2	523,3
Hastilha na linha de centro		peça de 50 × 300 mm	133,1	618,1	464%	300	9,45	42	101,0	954,7
Vau do convés		alma de 45 × 350 com chapuz 100 × 45 mm	289,5	1.269,0	438%	395	12,76	42	136,2	1.737,4
Reforço vertical do espelho		alma de 19 × 90 com chapuz 40 × 19 mm	16,3	35,2	216%	109	1,56	7	6,0	9,3

A largura efetiva de chapeamento que trabalha junto com cada reforço sai da subseção 3.5 do Guia: nenhuma em tabuado liso (3.5.4), e nunca mais que o espaçamento. O módulo de seção sai da seção composta, com a linha neutra calculada — é a linha tracejada de cada desenho. As seções são **dimensionadas por este painel** a partir de escadas de bitola de mercado, e não são seções normalizadas de nenhuma das duas fontes.

8 As anteparas de colisão

ANTEPARA	CAVERNA DA PONTA	BALIZA Nº	X DO ESPELHO M	% DE L DA PONTA	ÁREA M²	CARGA H M	PAINEL MM	K	T EXIGIDA MM	T ADOTADA MM	Σ SOB A CARGA N/MM²	PRUMOS	SM EXIGIDO CM³
vante	4ª	39	10,884	9,3	1,656	1,64	301 × 1.477	0,500	14,92	25,0	12,5	4 × 1,48 m	20,2
ré	4ª	4	1,116	9,3	2,779	1,52	299 × 1.242	0,500	14,25	25,0	11,4	9 × 1,24 m	13,1

A posição não vem das fontes. O Guia ABS de 1994 não exige antepara de colisão — a palavra não aparece no documento — e o livro de Gerr não a inclui no pacote S_n . A faixa adotada aqui, de 5% a 15% do comprimento a vante e de 5% a 12% a ré, é prática de classificação: o piso de 5% vem das regras de navio. Confira contra a norma aplicável — NORMAM, ISO 12215.

A antepara mora numa caverna. A posição não é uma distância livre: escolhe-se em qual caverna ela fica, contada da ponta para dentro, porque uma parede transversal entre duas cavernas exigiria uma caverna a mais só para ela. Este arranjo tem **42 cavernas internas**, e o painel oferece no máximo as **14** primeiras de cada ponta — menos, quando as duas se aproximam: mais para dentro que o terço do comprimento a parede deixa de ser antepara de colisão e passa a ser divisória de compartimento. Quem decide quantas posições existem é o espaçamento de balizas do passo 4.

O dimensionamento vem do Guia. Carga pela Tabela 7.1 d): da aresta inferior da antepara ao convés na linha de centro, com piso de 1,52 m. Espessura pela **equação 7.5.1**, a do tabuado liso, que não usa fator F nenhum — o fator de escala $1,09[4,2 - 1,13^{-4}\sqrt{L}] = 2,320$ faz o papel da redução por área. Um *min* ao lado da espessura exigida quer dizer que quem mandou foi a espessura mínima construtiva, e não a carga. A coluna de prumos traz a contagem e a altura do mais alto, que é o que dimensiona; no quadro de pesos entra a altura média, que é o que pesa. Tensão de projeto 35,2 N/mm² (ABS Tab. 7.2 · tabuado liso, 0,4-MOR · a mesma linha do casco) Módulo do prumo pela 8.1.3 com C = 619, sem fator F. Espessura adotada: a mesma do costado.

9 Pesos e centros

ITEM	QUANTIDADE	UNITÁRIO	MASSA KG	%	LCG M	VCG M	MOMENTO LONG. KG · M	MOMENTO VERT. KG · M
CHAPEAMENTO · 1.407,3 KG								
Chapeamento do fundo	28,5 m²	32,0 mm	573,56	10,8	5,433	0,320	3.116,4	183,5
Chapeamento do costado	27,3 m²	25,0 mm	430,09	8,1	6,044	1,001	2.599,5	430,6
Chapeamento do espelho de popa	1,7 m²	16,0 mm	16,66	0,3	0,183	1,051	3,1	17,5
Chapeamento do convés	38,4 m²	16,0 mm	386,98	7,3	5,514	1,589	2.134,0	614,9
REFORÇOS · 3.751,2 KG								
Longitudinal do fundo alma de 19 × 75 com chapuz 40 × 19 mm	8 × 12,88 m	1,38 kg/m	141,87	2,7	6,326	0,488	897,5	69,2
Longitudinal do costado alma de 19 × 150 com chapuz 40 × 19 mm	6 × 12,32 m	2,27 kg/m	168,09	3,2	6,125	1,063	1.029,5	178,7
Longitudinal do convés alma de 19 × 75 com chapuz 50 × 19 mm	12 × 12,05 m	1,50 kg/m	216,42	4,1	6,018	1,647	1.302,3	356,5
Baliza · caverna do costado peça de 38 × 225 mm	84 × 1,16 m	5,39 kg/m	523,33	9,9	6,087	1,052	3.185,7	550,6
Hastilha na linha de centro peça de 50 × 300 mm	42 × 2,41 m	9,45 kg/m	954,73	18,0	5,482	0,314	5.233,5	300,1
Vau do convés alma de 45 × 350 com chapuz 100 × 45 mm	42 × 3,24 m	12,76 kg/m	1.737,44	32,8	5,558	1,589	9.657,1	2.760,9
Reforço vertical do espelho alma de 19 × 90 com chapuz 40 × 19 mm	7 × 0,85 m	1,56 kg/m	9,28	0,2	0,183	1,051	1,7	9,8
ANTEPARAS · 145,7 KG								
Antepara de colisão de vante · chapa	1,66 m²	25,0 mm	26,08	0,5	10,884	1,445	283,9	37,7
Antepara de colisão de vante · prumos peça de 38 × 225 mm	4 × 1,28 m	5,39 kg/m	27,58	0,5	10,884	1,422	300,1	39,2
Antepara de colisão de ré · chapa	2,78 m²	25,0 mm	43,78	0,8	1,116	1,006	48,9	44,0
Antepara de colisão de ré · prumos peça de 38 × 225 mm	9 × 1,00 m	5,39 kg/m	48,27	0,9	1,116	0,996	53,9	48,1
Estrutura completa			5.304,2	100,0	5,627	1,064	29.847,0	5.641,2

Datum: **x** medido do espelho de popa para vante, **z** da linha de base. O centro transversal é zero por simetria. O centro sai de $\Sigma(\text{massa} \times \text{posição}) \div \Sigma\text{massa}$, e as duas últimas colunas mostram as parcelas dessa soma. Massa específica do chapeamento 630 kg/m³ (Tabela 4.4 do ABS).
Este é o peso da estrutura nua. Não entram margem de construção, solda, cola, resina de laminação, cantoneiras de canto, chapas de reforço nos cruzamentos, ferragens nem tinta. Com 12% de margem de construção a estrutura sairia com 5.941 kg. A estrutura calculada é 76,9% do deslocamento de 6,90 t informado no passo 1.

10 A regra de Gerr pelo livro, para conferir

S _n do livro	3,202 (com 1-2 balanço longo e 1-3 flare pronunciado)	Fórmula 1-1
a regra, em uma linha	tabuado = 18,79 × S _n ^{0,40} ; convés em compensado forrado = 0,75 × tabuado	
espaçamento entre transversais, pelo livro	353 mm	Fórmula 9-3

REGIÃO	FÓRMULA DO LIVRO	ESPESSURA MM	O CAMINHO LONGO PEDIU MM	DIFERENÇA
Fundo	Fórmula 9-1	29,93	25,96	+15%
Costado	Fórmula 9-1	29,93	25,96	+15%
Convés	Fórmula 9-19	22,45	16,32	+38%
Espelho de popa	Fórmula 9-1, como o costado	29,93	17,49	+71%

11 Observações do cálculo

- **Fundo:** a espessura que o ABS exige dá FS de 480,8 contra as cargas de Hendrickson & Spencer — 320,5 vezes o alvo. É a mesma folga que Gerr descreve no paper: “a minha experiência prática é que os escantilhões de muitas fontes são de fato muito conservadores”. Aqui a regra está mandando, não a carga.
- **Costado:** a espessura que o ABS exige dá FS de 24,5 contra as cargas de Hendrickson & Spencer — 8,2 vezes o alvo. É a mesma folga que Gerr descreve no paper: “a minha experiência prática é que os escantilhões de muitas fontes são de fato muito conservadores”. Aqui a regra está mandando, não a carga.
- **Costado:** a espessura adotada de 25,0 mm é menor que a governante de 25,96 mm (ABS 7.5.1).
- **Espelho de popa:** a espessura que o ABS exige dá FS de 22,1 contra as cargas de Hendrickson & Spencer — 7,4 vezes o alvo. É a mesma folga que Gerr descreve no paper: “a minha experiência prática é que os escantilhões de muitas fontes são de fato muito conservadores”. Aqui a regra está mandando, não a carga.
- **Espelho de popa:** a espessura adotada de 16,0 mm é menor que a governante de 17,49 mm (ABS 7.5.1).
- **Convés:** a espessura que o ABS exige dá FS de 25,4 contra as cargas de Hendrickson & Spencer — 8,5 vezes o alvo. É a mesma folga que Gerr descreve no paper: “a minha experiência prática é que os escantilhões de muitas fontes são de fato muito conservadores”. Aqui a regra está mandando, não a carga.
- **Convés:** a espessura adotada de 16,0 mm é menor que a governante de 16,32 mm (ABS 7.5.1).
- Tabuado liso: o ABS 8.3.2 prescreve **cavernamento transversal** e a equação 7.5.1 **não usa o fator F** — o fator de escala $1,09|4,2 - 1,13 \cdot \sqrt{L}| = 2,320$ faz o papel da redução por área. Num casco puramente transversal, o painel do chapeamento passa a ser o vão entre cavernas com $\ell/s \geq 2$, isto é $k = 0,5$. Pela 3.5.4 o módulo de seção da caverna conta **só o reforço**, sem largura efetiva de chapeamento.
- No cálculo do S_n entrou a correção **1-2 balanço longo e 1-3 flare pronunciado** da própria Fórmula 1-1.

12 Os dois fatores de segurança, e de onde cada um vem

O painel mostra dois fatores de segurança. Eles não medem a mesma coisa, não vêm da mesma fonte, e nenhuma das duas fontes os chama assim.

FS regra — contra a carga hidrostática do ABS

Fonte: **ABS, Guide for Building and Classing Offshore Racing Yachts, 1994**, Seção 7 (chapeamento) com as propriedades de material das Tabelas 4.1 a 4.4.

É a razão entre a **resistência última de referência** do material e a tensão que a chapa efetivamente sofre sob a carga de projeto do Guia, com a espessura que você adotou:

$$FS_{\text{regra}} = \text{ruptura} \div \sigma(t \text{ adotada})$$

A tensão $\sigma(t)$ não sai da mesma expressão em todos os materiais, porque o Guia não usa a mesma cláusula em todos:

$$\begin{aligned} \text{metal, madeira laminada e fibra (7.1 e 7.3.1a)} \quad \sigma(t) &= p \cdot k \cdot (s \cdot c)^2 \div t^2, \text{ com } p = 0,01 \cdot F \cdot h \text{ tabuado} \\ \text{liso (7.5.1)} \quad \sigma(t) &= 0,001 \cdot h \cdot (a_f \cdot s)^2 \div t^2 \cdot 9,80665, \text{ com } a_f = 1,09 \cdot |4,2 - 1,13 \cdot \sqrt{L}| \end{aligned}$$

A segunda **não usa o fator F nem o coeficiente de forma k**: o fator de escala a_f faz o papel dos dois, e σ_a entra em kgf/mm^2 . Refazer a conta do tabuado liso com a expressão de cima erra por mais de dez vezes.

Ressalva de atribuição. O Guia *não publica* fator de segurança: a expressão “factor of safety” não ocorre em nenhuma das suas 57 páginas, e a palavra “safety” aparece uma única vez, qualitativa, em 1.5.2. O que ele publica é a **tensão de projeto σ_a da Tabela 7.2**, e o critério é $\sigma \leq \sigma_a$. O número que este painel chama de “FS regra” é uma razão **calculada aqui** a partir dessa tensão de projeto. Quando a espessura adotada é exatamente a exigida, ele vale $\text{ruptura} \div \sigma_a$ — o piso da coluna. Arredondar para a bitola comercial seguinte o faz subir.

Ressalva de comparação. A Tabela 7.2 dá σ_a como fração de bases diferentes conforme o material, e por isso a coluna não se compara entre materiais:

MATERIAL	FRAÇÃO DA TAB. 7.2	BASE	PISO DA COLUMNA
aço e alumínio	0,60	resistência última à tração – no alumínio, no estado soldado (nota 1)	1,67
fibra de vidro, casca simples	0,50	resistência mínima à flexão	2,00
madeira laminada a frio	0,50	módulo de ruptura , ele próprio tomado a 22% do valor tabelado (nota 3)	2,00
tabuado liso	0,40	módulo de ruptura	2,50

Transcrito da **primeira linha** da Tabela 7.2, “Shell and Deck”, e das suas notas 1 e 3 — que é a única que este painel usa, porque ele só calcula chapeamento de casco e de convés. A tabela tem mais duas linhas, **Watertight Bhd** e **Tank Bhd**, e em aço e alumínio elas mandam **0,75 do escoamento no estado não soldado** (nota 2), não 0,60 da ruptura: não use os números acima para dimensionar anteparo estanco ou de tanque. O compensado deste painel entra na linha da madeira laminada. E repare que 1,67 é fração da tração, 2,00 da flexão e 2,50 do módulo de ruptura: são grandezas distintas, e postas lado a lado não formam uma escala.

FS impacto — contra a carga de impacto de planeio

Fonte: **Dave Gerr**, “*The Elements of Boat Strength Scantling System*”, **IBEX 2010, sessão 501**, a cadeia das páginas 25 a 29. **Não** vem do livro *The Elements of Boat Strength*: o livro não publica fator de segurança nem tensão admissível para a regra S_n , que é empírica e vai direto de S_n à espessura.

É a razão entre a mesma resistência última e a **tensão de membrana** do painel sob a pressão de projeto de impacto, obtida do gráfico de Rawson & Tupper reproduzido no paper:

$$FS_{\text{impacto}} = \text{ruptura} \div \sigma, \text{ com } \sigma = C \cdot E \cdot (t/b)^2$$

O paper publica, na p.28, um único ajuste para o C do gráfico de Rawson & Tupper: $C = 1,912 + 0,383A - A^2/1922$. Esse ajuste é da parte de **membrana** da curva e, em painel pouco carregado, ele devolveria mais tensão do que a flexão simples — o que não faz sentido, já que a membrana só alivia. Então este painel toma o menor dos dois ramos:

$$C = \min(A/2 ; 1,912 + 0,383A - A^2/1922)$$

O ramo $A/2$ é a flexão de faixa bi-engastada, coerente com a p.27 do paper, que manda examinar por viga simples os elementos que fletem pouco — mas **a forma com o mínimo é síntese deste painel**, e não está impressa na fonte. Os dois ramos se cruzam em **A = 15,3**.

Os alvos estão impressos na **p.29: SF 1,5** para carga dinâmica de fundo e **SF 3** para carga estática de costado e convés, junto com as flechas admissíveis — 50:1 e 100:1 no laminado de fibra, 75:1 e 150:1 no alumínio (esta última impressa no paper na forma invertida, “1:150”).

Dois coisas que este painel faz e o paper não. Primeira: a p.29 enuncia esses alvos dentro dos blocos de propriedades do **laminado de fibra** e do **alumínio 5083**. Aplicá-los a aço, madeira maciça e compensado é extensão deste painel. Segunda: o **fator de velocidade f_v** que multiplica a pressão de impacto é construção deste painel — nenhuma das duas fontes traz termo de velocidade na pressão, e por isso o FS impacto mostrado aqui não se reproduz a partir das planilhas do paper sem antes zerar esse fator.

Por que, fora do fundo, os dois números coincidem

No **costado, no espelho e no convés** a coluna do impacto costuma dar exatamente o mesmo valor da coluna da regra. Não é erro de montagem, e tem duas razões somadas. A primeira: nessas regiões o paper dá o critério mas não dá fórmula de pressão, então a verificação toma emprestada a mesma carga estática do ABS. A segunda: enquanto o parâmetro A do gráfico de membrana ficar abaixo de **15,3**, o painel ainda trabalha em **flexão**, e ali a curva vale $C = A/2$, que devolve $\sigma = p \cdot s^2 \div 2t^2$.

Repare que essa é a tensão do ABS **somente quando $k = 0,5$** , isto é, em painel comprido — ou em madeira, onde a Tabela 7.3 trava k em 0,5 de qualquer jeito. Em metal e em fibra de vidro com painel perto do quadrado, k desce até 0,308, a coluna da regra cai na razão $0,5 \div k$ e as duas **deixam de coincidir** mesmo sem a membrana entrar em jogo: num espelho de popa quadrado em alumínio a diferença chega a 60%. Quando as duas colunas batem, é porque k valia 0,5 ali.

Acima de $A = 15,3$ a membrana passa a mandar, começa a aliviar a tensão, e as colunas se separam por esse segundo motivo.

Por que, no fundo, os dois diferem

Porque ali as cargas são diferentes. O FS regra usa a carga hidrostática do Guia, que não tem termo de velocidade. O FS impacto usa a pressão de pico de planeio de Hendrickson & Spencer, reduzida pela área do painel segundo Koelbel e multiplicada pelo fator de velocidade deste painel. Ler os dois juntos é o ponto: a espessura adotada é a maior das duas exigências.

13 Fontes, e onde este painel simplifica

Fonte A — ABS, Guide for Building and Classing Offshore Racing Yachts, 1994. Daqui vem toda a espessura exigida pelo caminho longo e o módulo de seção dos reforços. Carga na Tabela 7.1; desconto por área nas 7.4 e 7.5; forma do painel na 7.3; tensão de projeto na 7.2; materiais nas 4.1 a 4.4. Chapeamento pela equação 7.1 em metal e madeira laminada, 7.3.1 em fibra de vidro, 7.5.1 em tabuado liso; reforços pela 8.1.3, com $C = 817$ nos reforços de casco e convés, 1800 na hastilha da linha de centro e 619 no prumo de antepara. A largura efetiva de chapeamento que trabalha junto com o reforço sai da subseção 3.5. Da antepara o Guia dá a carga na Tabela 7.1 d), a tensão de projeto da chapa na 7.2 e a do prumo na 8.2 — mas **não dá tabela de F para antepara**, só para casco e convés, e por isso o painel usa $F = 1$ ali.

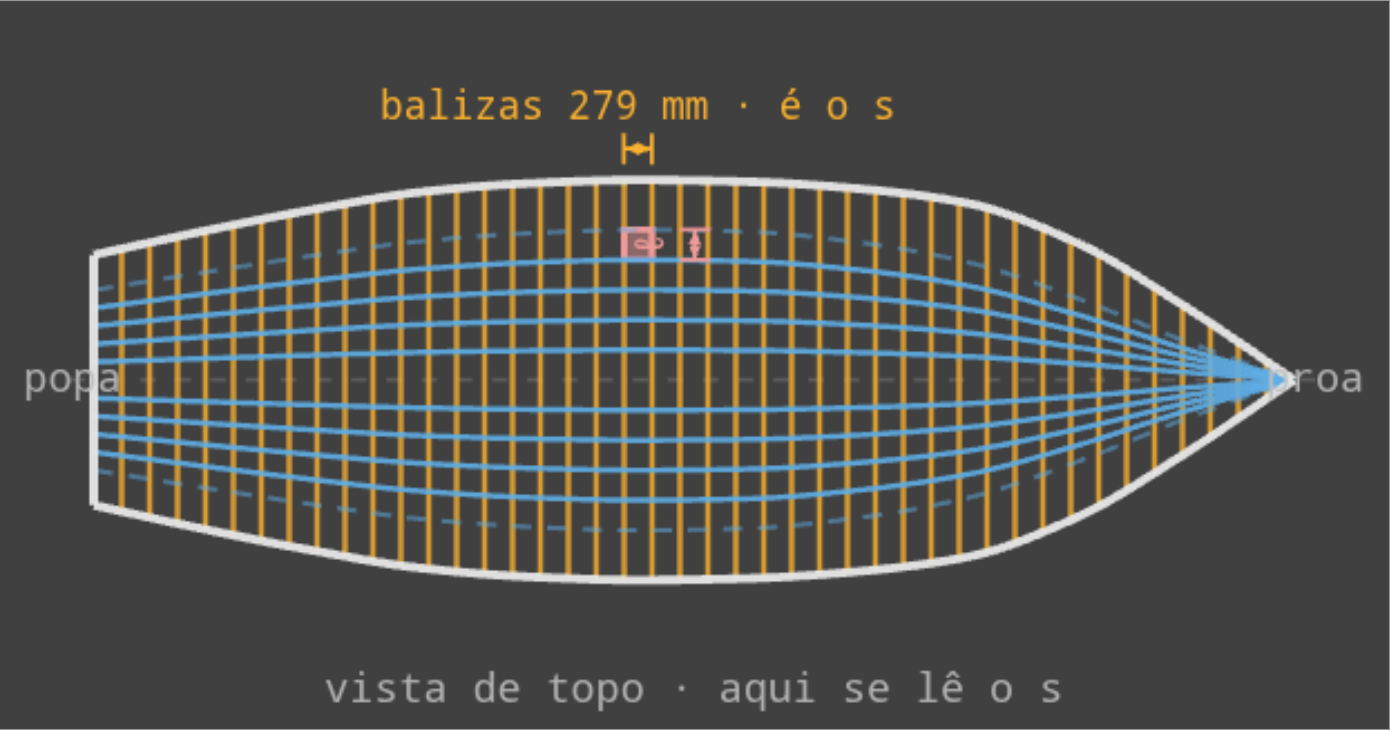
Fonte B — Dave Gerr, The Elements of Boat Strength. O livro completo, pelo acervo desta pasta. Daqui vem o caminho curto: o número S_n (Fórmula 1-1, com as correções 1-2 e 1-3) e as espessuras diretas — 4-1, 4-2 e 4-4 em fibra; 9-1, 9-3 e 9-19 em madeira; 11-13 em casca laminada; 15-1A, 15-2A, 15-4A, 15-6A em alumínio; 15-1S, 15-2S, 15-4S, 15-6S em aço; 15-9, 5-1 e 5-5 nos espaçamentos. Todas conferidas contra os exemplos resolvidos do próprio livro.

Fonte C — Gerr, IBEX 2010, sessão 501. A cadeia de carga de impacto: pressão de pico de Hendrickson & Spencer, redução por área de Koelbel, painel com tensão de membrana de Rawson & Tupper, os fatores de segurança alvo e o teto $45 = 0,33 \cdot S_n$. Os alvos SF 1,5 e SF 3 estão impressos na p.29, mas dentro dos blocos de propriedades do **laminado de fibra** e do **alumínio 5083**: aplicá-los a aço, madeira maciça e compensado é extensão deste painel. O **fator de velocidade** do passo 3 não está em fonte nenhuma — é deste painel.

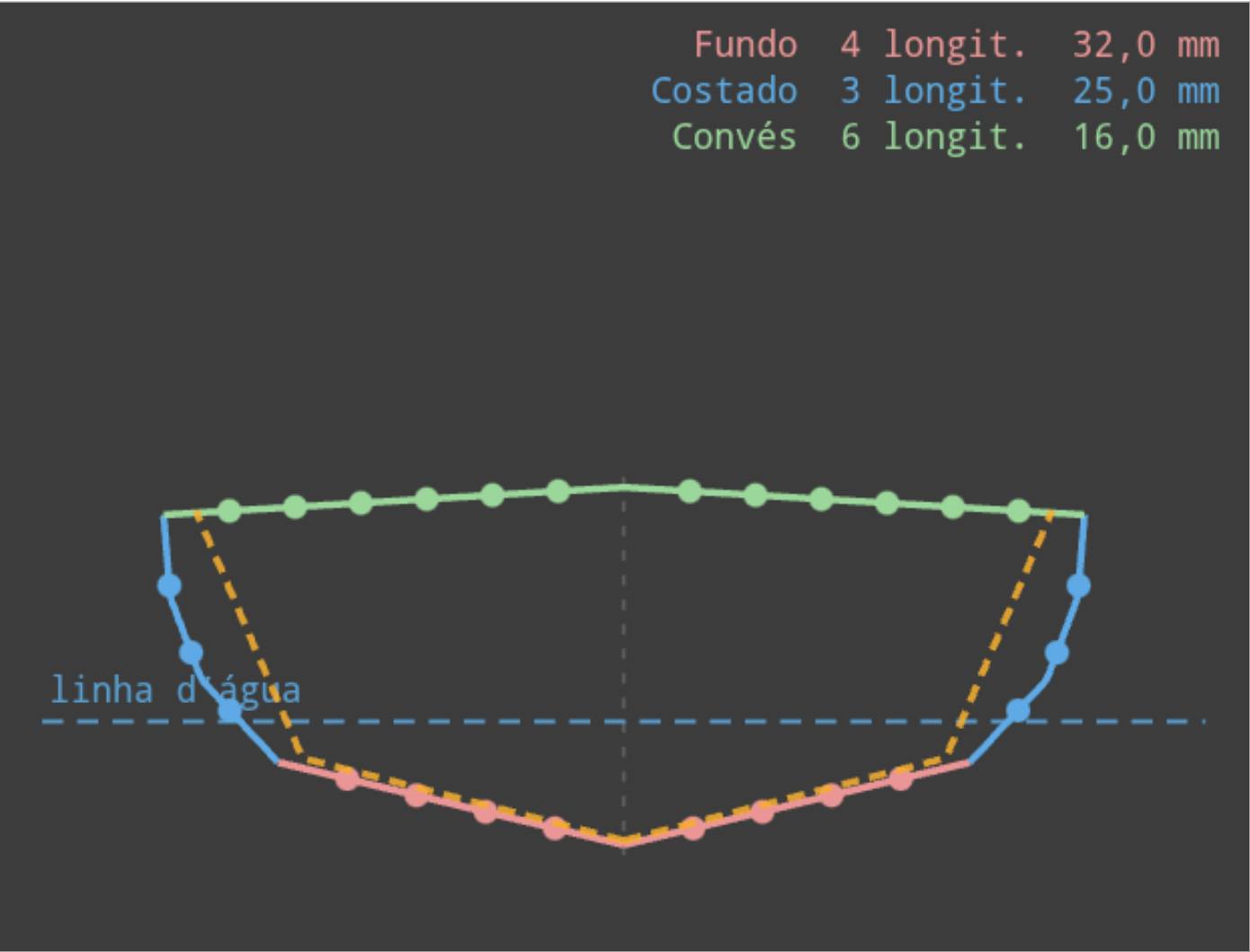
Onde este painel simplifica. É material de aula: mostra uma decisão por vez e deixa de fora coisas que um projeto real precisa — reforço do fundo na quilha, anteparas de compartimentação além das duas de colisão, berços de motor, construção sanduíche, reforço local de ferragens, o incremento das hastilhas pelo peso do lastro e a resistência longitudinal do casco. O quadro de pesos do passo 8 cobre chapeamento, reforços e as duas anteparas, e mais nada: nem margem de construção, nem solda, cola ou resina de laminação. A geometria do casco é a **sua tabela de cotas**: os perímetros do fundo, do costado e do convés são medidos nela, é neles que os longitudinais são distribuídos, e a área e a altura de cada antepara saem da própria baliza. Editar comprimento, boca ou pontal no passo 1 **escala** a tabela; não a substitui.

Onde o painel decide por conta própria. Nenhuma das fontes traz casco de **compensado em folha**: o ABS só exige qualidade naval na subseção 4.9, e o livro de Gerr cobre strip-plank e cold-molded. Aqui o compensado é calculado como madeira laminada — pela equação 7.1 do ABS com o módulo de ruptura tomado como 22% do valor da espécie, e pela Fórmula 11-13 do livro. O espelho de popa não tem cláusula própria e é tratado como casca na extremidade de popa. O módulo de elasticidade do aço e as densidades do cálculo de massa são valores de norma e de catálogo, não das fontes.

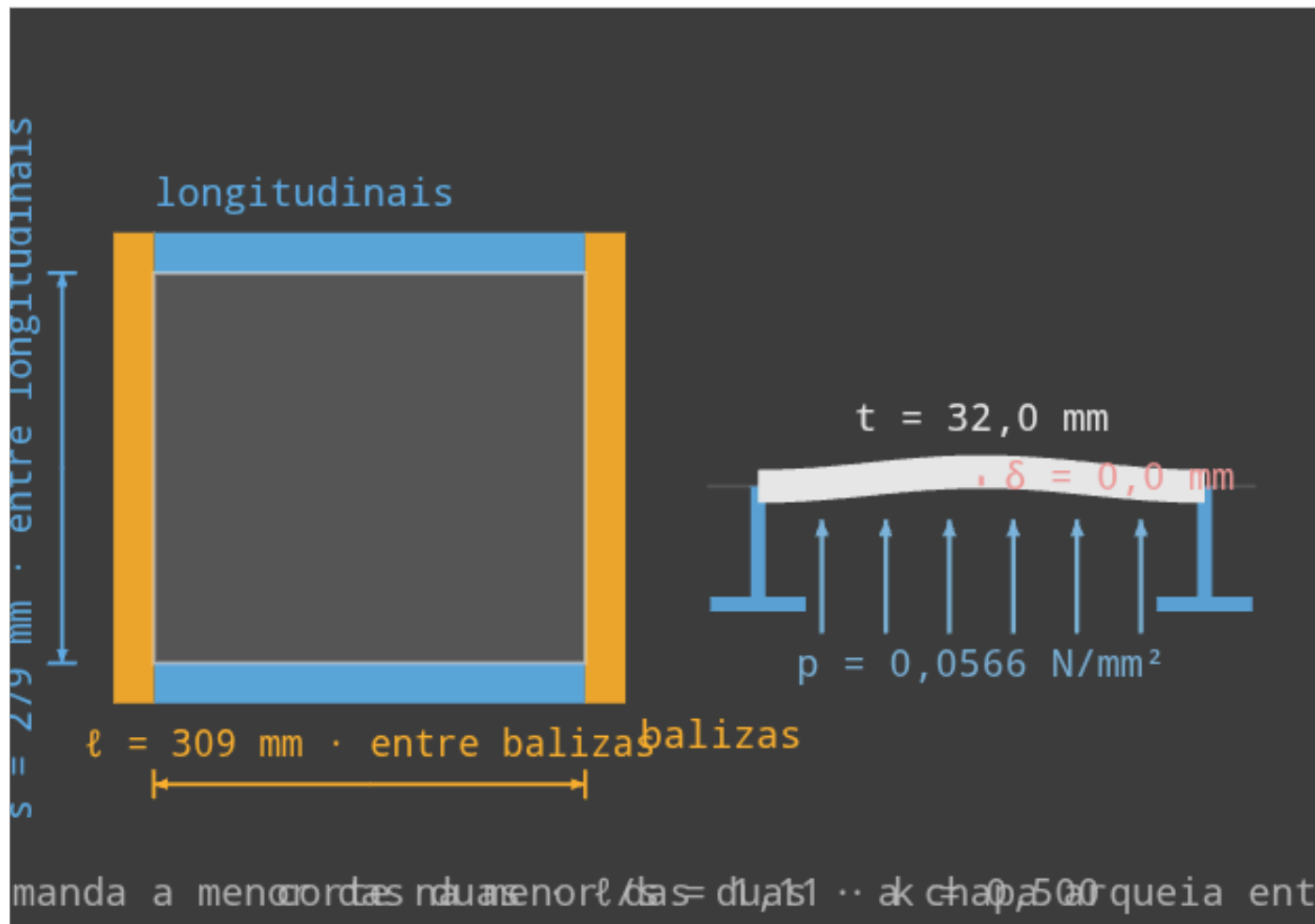
Aviso. Escantilhões definem a segurança estrutural da embarcação. Confira sempre contra a fonte original e contra a norma aplicável — NORMAM, ISO 12215 — antes de construir.



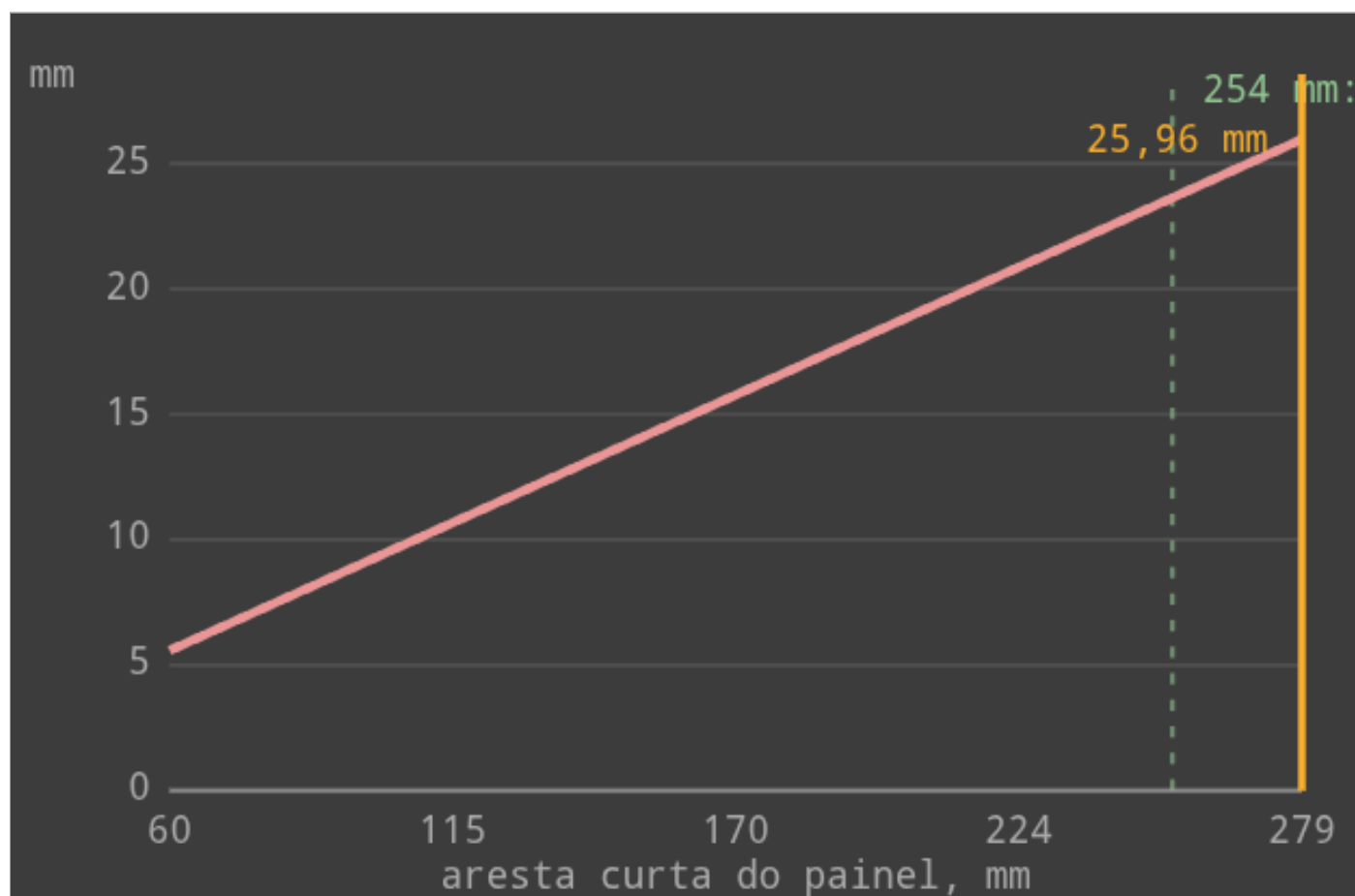
Vista de topo – as balizas atravessam o barco e dão o ℓ



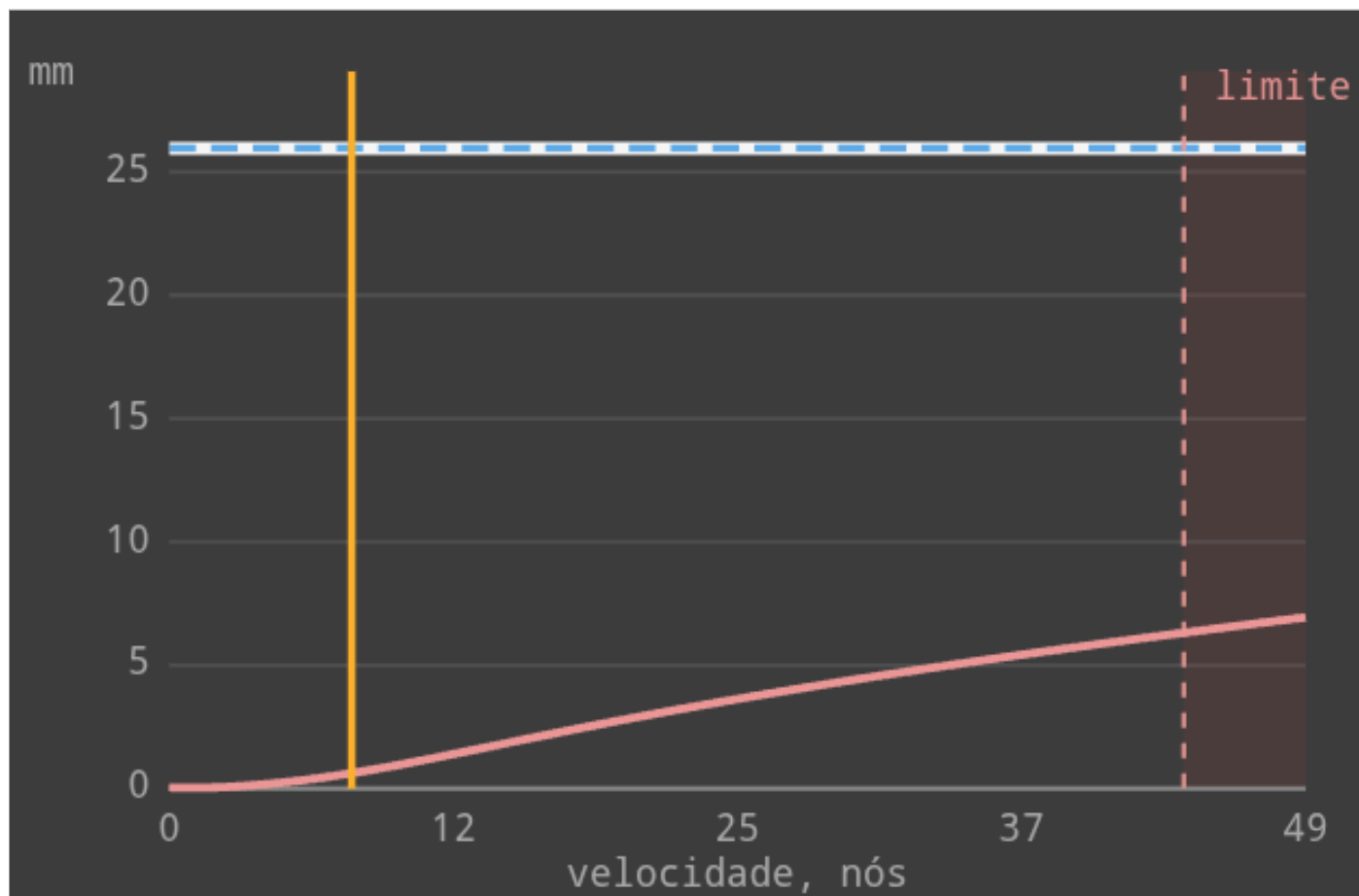
Seção transversal – os longitudinais em corte dão o s



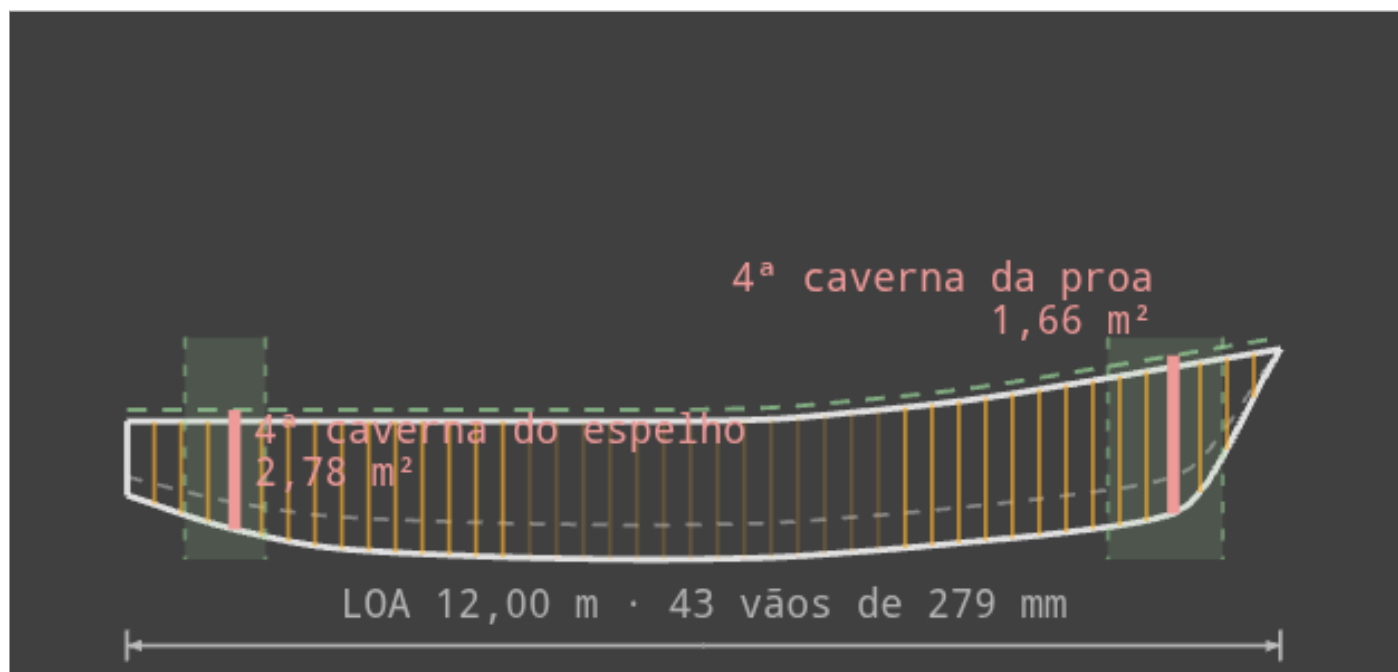
0 painel em planta e em corte, com a flecha sob a pressão



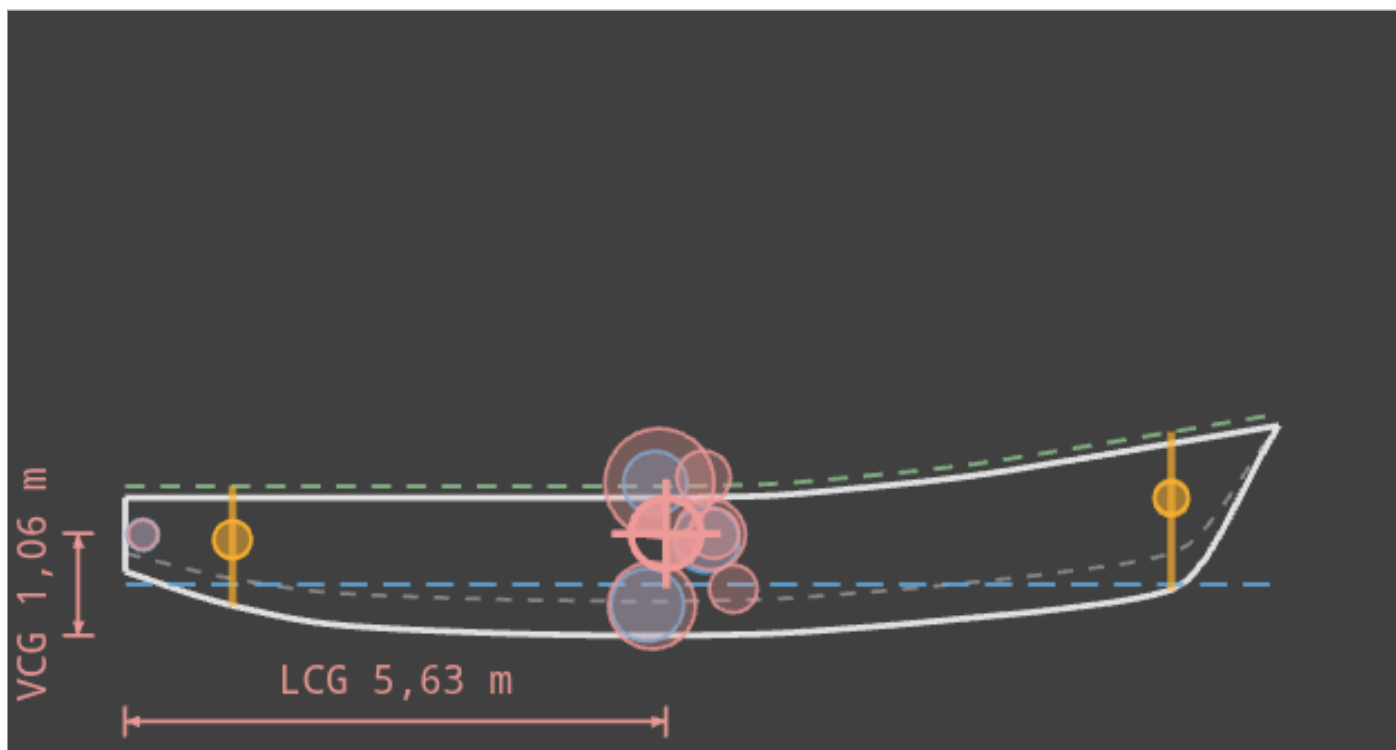
Espessura exigida em função da aresta curta do painel



Espessura exigida em função da velocidade



As anteparas de colisão, encaixadas nas balizas



O centro de gravidade da estrutura, e a distribuição das massas

Escantilhões definem a segurança estrutural da embarcação. Confira sempre contra a fonte original e contra a norma aplicável – NORMAM, ISO 12215 – antes de construir. Este documento é material de aula.