

Memória de cálculo do arranjo estrutural

casco 4.88m · 4,88 m · compensado naval · lâminas de Mogno (América Central e do Sul) · fundo de 9,0 mm · estrutura de 316 kg

Gerado em 08/10/2026 às 20:02 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}	4,88 m	
comprimento na linha d'água L_{WL}	4,31 m	
boca máxima B_{OA}	2,05 m	
boca na linha d'água B_{WL}	1,66 m	
pontal D	0,88 m	
calado d	0,300 m	
deslocamento Δ	0,969 t	
ângulo de fundo	18,8°	
inclinação do espelho	10,0°	
velocidade máxima	25,5 nós	entrada do passo 3
Particulares de entrada		
comprimento de escantilhão $L = (L_{OA} + L_{WL}) \div 2$	4,595 m	ABS §2.1
carga básica $h = 3,0d + 0,14L + 1,62$	3,163 m	ABS Tab. 7.1
carga de projeto do convés $= 0,04L + 1,83$	2,014 m	ABS Tab. 7.1c
número de escantilhão $S_n = L_{OA} \times boca \times D \div 28,32$	0,265 (com 1-2 balanço longo e 1-3 flare pronunciado)	Gerr, livro · Fórmula 1-1
S_n do paper, em pés $= L \times B \times D \div 1000$	0,265	Gerr, IBEX p.5
teto de velocidade do método $= 45 - 0,33 \times S_n$	44,9 nós	Gerr, IBEX p.8
razão velocidade-comprimento $V \div \sqrt{L_{WL}}$	6,780	
fator de velocidade $f_V = (V \div V_{ref})^2$ ($V_{ref} = 30,6$ nós)	0,695	derivado — ver §12
razão deslocamento-comprimento D/L	337	faixa do livro: 100 a 275

Grandezas derivadas

Fora da faixa declarada pelo livro de Gerr: razão D/L de 337, fora de 100 a 275. A coluna do ABS não depende disso.

2 O material

material	compensado naval · lâminas de Mogno (América Central e do Sul)	
resistência última de referência	17,6 N/mm²	módulo de ruptura do painel
escoamento	não se aplica	
tensão de projeto do chapeamento σ_a	8,8 N/mm²	ABS Tab. 7.2 · madeira laminada, 0,5·MOR
tensão de projeto dos reforços	7,4 N/mm²	ABS Tab. 8.2 · madeira laminada, 0,42·MOR
módulo de elasticidade E	6.240 N/mm²	
razão ruptura ÷ tensão de projeto	2,00	ver §12, sobre os dois FS
equação de chapeamento	7.1	ABS
arranjo estrutural previsto	longitudinal (ABS 8.3.1)	
largura efetiva de chapeamento no reforço	50 · t (ABS 3.5.2)	ABS §3.5
bitolas comerciais consideradas	4,0 · 6,0 · 9,0 · 12,0 · 15,0 · 18,0 · 21,0 · 24,0 · 27,0 · 30,0 mm	fora das fontes

Ressalvas do material: E do compensado tomado como 0,60·E da espécie — FORA DA FONTE. O Guia ABS não traz equação nem propriedade para compensado: 4.9 só exige qualidade naval. Aqui ele é calculado por 7.1, como madeira laminada.

3 O arranjo estrutural

espaçamento entre longitudinais, escolhido	420 mm	entrada do passo 4
espaçamento entre balizas, escolhido	605 mm	entrada do passo 4
balizas ao longo de L _{OA}	9 vãos de 542 mm	
vão da baliza, borda à quilha	1,332 m	ABS Fig. 8.1
longitudinais no fundo, por bordo	2 · painéis de 289 mm	
longitudinais no costado, por bordo	1 · painéis de 303 mm	
longitudinais no convés, por bordo	2 · painéis de 342 mm	
grade do espelho de popa	5 × 3 painéis de 368 × 288 mm	

REGIÃO	ARESTA CURTA S MM	ARESTA LONGA ℓ MM	ℓ/S	K	QUEM É A ARESTA CURTA
Fundo	289	542	1,88	0,500	o espaçamento dos longitudinais
Costado	303	542	1,79	0,500	o espaçamento dos longitudinais
Espelho de popa	288	368	1,28	0,500	a grade do espelho
Convés	342	542	1,58	0,500	o espaçamento dos longitudinais

O painel de cada região, e qual aresta manda

4 A conta, região por região

Fundo

carga de projeto h	3,80 m de coluna d'água	ABS Tab. 7.1 · 7.1a
estação da carga governante	X = 3,09 m da popa, z = 0,05 m	
painel	289 × 542 mm	
redução por área F	0,948	ABS Tab. 7.4

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · FUNDO equação 7.1		
1	carga de projeto	3,80 m Tabela 7.1
2	desconto por área	0,948 Tabela 7.4
3	pressão = $0,01 \times 0,948 \times 3,80$	0,0360 N/mm ²
4	forma do painel = painel 289 × 542 mm	k = 0,500 Tabela 7.3
5	tensão de projeto	8,8 N/mm ² Tabela 7.2
6	aresta curta do painel	289 mm
= $t = 289 \times \sqrt{(0,0360 \times 0,500 \div 8,8)}$ = $289 \times 0,04523$		13,06 mm

pressão de pico $P_i = 16,0 + 0,078 \cdot L_{WL} + 0,0487 \cdot \Delta$	17,15 psi	Hendrickson & Spencer · IBEX p.25
área de referência $A_r = 25 \cdot (\Delta \div d) \cdot 144$	3.489 pol ²	IBEX p.26
área do painel A_d	242,7 pol ²	
razão $A_d \div A_r$	0,0696	
redução de área $f_d = 0,14 \cdot (A_d/A_r)^{-0,285}$	0,299	Koelbel · IBEX p.26 · limitada a 0,14–0,70
fator de velocidade f_v	0,695	derivado — ver §12
pressão de projeto $P_d = f_v \cdot f_d \cdot P_i$	3,57 psi = 0,0246 N/mm ²	
parâmetro de membrana $A = (P_d/E) \cdot (b/t)^4$	4,2	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente $C = \min(A/2 ; 1,912 + 0,383A - A^2/1922)$	2,088 · manda a flexão, A/2	polinômio na p.28 do IBEX; o ramo A/2 é deste painel — ver §12
tensão de membrana $\sigma = C \cdot E \cdot (t/b)^2$	12,7 N/mm ²	
flecha δ	1,06 mm · $b/\delta = 272:1$	admissível 50:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	1,39 · alvo 1,5 · não passa	carga dinâmica · IBEX p.29
espessura que esta carga exigiria	3,85 mm · governa flecha 50:1	
Verificação pela cadeia de carga de impacto		
exigido pelo ABS	13,06 mm	equação 7.1
exigido pela carga de impacto	3,85 mm	
espessura governante	13,06 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	15,0 mm	
espessura adotada	9,0 mm · abaixo do exigido	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	18,5 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	0,95 · mínimo embutido na norma 2,00	razão calculada — ver §12

Resultado da região

Costado

carga de projeto h	3,71 m de coluna d’água	ABS Tab. 7.1 · 7.1a
estação da carga governante	X = 2,93 m da popa, z = 0,45 m	
painel	303 × 542 mm	
redução por área F	0,927	ABS Tab. 7.4

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · COSTADO equação 7.1		
1	carga de projeto	3,71 m Tabela 7.1
2	desconto por área	0,927 Tabela 7.4
3	pressão = 0,01 × 0,927 × 3,71	0,0344 N/mm ²
4	forma do painel = painel 303 × 542 mm	k = 0,500 Tabela 7.3
5	tensão de projeto	8,8 N/mm ² Tabela 7.2
6	aresta curta do painel	303 mm
= t = 303 × √(0,0344 × 0,500 ÷ 8,8) = 303 × 0,04422		13,42 mm

pressão de projeto, emprestada da carga estática do ABS	4,99 psi = 0,0344 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	7,1	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente C = min(A/2 ; 1,912 + 0,383A – A²/1922)	3,563 · 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	19,6 N/mm ²	
flecha δ	1,78 mm · b/δ = 170:1	admissível 100:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	0,90 · alvo 3,0 · não passa	carga estática · IBEX p.29
Verificação pela cadeia de carga de impacto		
exigido pelo ABS	13,42 mm	equação 7.1
exigido pela carga de impacto	só verificação, ver acima	
espessura governante	13,42 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	15,0 mm	
espessura adotada	9,0 mm · abaixo do exigido	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	19,6 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	0,90 · mínimo embutido na norma 2,00	razão calculada – ver §12

Resultado da região

Espelho de popa

carga de projeto h	2,21 m de coluna d'água	ABS Tab. 7.1 · 7.1a
estação da carga governante	X = 0,00 m da popa, z = 0,14 m	
painel	288 × 368 mm	
redução por área F	0,950	ABS Tab. 7.4

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · ESPELHO DE POPA equação 7.1		
1	carga de projeto	2,21 m Tabela 7.1
2	desconto por área	0,950 Tabela 7.4
3	pressão = 0,01 × 0,950 × 2,21	0,0210 N/mm ²
4	forma do painel = painel 288 × 368 mm	k = 0,500 Tabela 7.3
5	tensão de projeto	8,8 N/mm ² Tabela 7.2
6	aresta curta do painel	288 mm
= t = 288 × √(0,0210 × 0,500 ÷ 8,8) = 288 × 0,03457		9,95 mm

pressão de projeto, emprestada da carga estática do ABS	3,05 psi = 0,0210 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	17,8	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente C = min(A/2 ; 1,912 + 0,383A – A ² /1922)	8,572 · manda a membrana	polinômio na p.28 do IBEX; o ramo A/2 é deste painel – ver §12
tensão de membrana σ = C·E·(t/b) ²	23,3 N/mm ²	
flecha δ	2,71 mm · b/δ = 106:1	admissível 100:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	0,76 · alvo 3,0 · não passa	carga estática · IBEX p.29
Verificação pela cadeia de carga de impacto		
exigido pelo ABS	9,95 mm	equação 7.1
exigido pela carga de impacto	só verificação, ver acima	
espessura governante	9,95 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	12,0 mm	
espessura adotada	6,0 mm · abaixo do exigido	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	24,2 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	0,73 · mínimo embutido na norma 2,00	razão calculada – ver §12

Resultado da região

Convés

carga de projeto h	2,01 m de coluna d'água	ABS Tab. 7.1 · 7.1c
estação da carga governante	X = 2,09 m da popa, z = 0,91 m	
painel	342 × 542 mm	
redução por área F	0,965	ABS Tab. 7.5

Carga e painel

O CAMINHO LONGO, DO ABS · CONVÉS equação 7.1		
1	carga de projeto	2,01 m Tabela 7.1
2	desconto por área	0,965 Tabela 7.5
3	pressão = 0,01 × 0,965 × 2,01	0,0194 N/mm ²
4	forma do painel = painel 342 × 542 mm	k = 0,500 Tabela 7.3
5	tensão de projeto	8,8 N/mm ² Tabela 7.2
6	aresta curta do painel	342 mm
= t = 342 × √(0,0194 × 0,500 ÷ 8,8) = 342 × 0,03323		11,37 mm

pressão de projeto, emprestada da carga estática do ABS	2,82 psi = 0,0194 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	33,0	Rawson & Tupper, reproduzido no IBEX
coeficiente C = min(A/2 ; 1,912 + 0,383A – A ² /1922)	13,980 · manda a membrana	polinômio na p.28 do IBEX; o ramo A/2 é deste painel – ver §12
tensão de membrana σ = C·E·(t/b) ²	26,8 N/mm ²	
flecha δ	4,29 mm · b/δ = 80:1	admissível 100:1
FS impacto = ruptura ÷ σ	0,66 · alvo 3,0 · não passa	carga estática · IBEX p.29
Verificação pela cadeia de carga de impacto		
exigido pelo ABS	11,37 mm	equação 7.1
exigido pela carga de impacto	só verificação, ver acima	
espessura governante	11,37 mm	manda a carga hidrostática do ABS
bitola comercial seguinte	12,0 mm	
espessura adotada	6,0 mm · abaixo do exigido	escolha do projetista
tensão sob a carga da regra	31,6 N/mm ²	
FS regra = ruptura ÷ tensão	0,56 · mínimo embutido na norma 2,00	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 M²	MASSA KG
Fundo	3,80	289 × 542	13,06	9,0	0,95	1,39	7,12	33,5
Costado	3,71	303 × 542	13,42	9,0	0,90	0,90	5,13	24,1
Espelho de popa	2,21	288 × 368	9,95	6,0	0,73	0,76	1,20	3,8
Convés	2,01	342 × 542	11,37	6,0	0,56	0,66	8,35	26,2
total							21,80	87,6

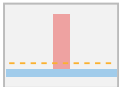
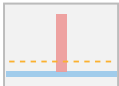
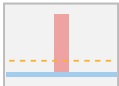
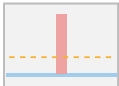
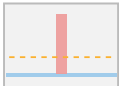
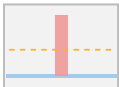
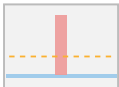
Massa pela densidade de 523 kg/m³ — massa específica da Tabela 4.4 do ABS. Só o chapeamento: reforços, anteparas e acessórios não entram. Fora do fundo as duas colunas de FS costumam coincidir: ali a verificação de impacto usa a mesma carga do ABS e o painel ainda está em regime de flexão — a §12 explica.

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	0,613	2,33	0,289	0,542	21,84	14,83	21,84	sicorda 25 × 50 mm
Longitudinal do costado	817	0,613	2,28	0,303	0,542	22,46	43,62	43,62	sicorda 35 × 65 mm
Longitudinal do convés	817	0,885	1,78	0,342	0,542	19,83	27,78	27,78	escoa 30 × 60 mm
Baliza · caverna do costado	817	0,250	0,95	0,542	1,332	100,84	251,94	251,94	caverna 65 × 125 mm
Hastilha na linha de centro	1.800	0,250	0,95	0,542	1,332	222,18	251,94	251,94	hastilha 65 × 125 mm
Vau do convés	817	0,330	0,66	0,542	2,050	167,37	629,07	629,07	vau 95 × 190 mm
Reforço vertical do espelho	817	0,338	0,75	0,368	0,863	22,71	81,92	81,92	prumo 45 × 90 mm

SM pelo ABS §8.1.3: $SM = C \cdot h \cdot s \cdot \ell^2 \div \sigma_a$, com $\sigma_a = 7,4 \text{ N/mm}^2$ 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 CM ³	SM DA SEÇÃO CM ³	FOLGA	ALTURA MM	KG/M	PEÇAS	TOTAL M	MASSA KG
Longitudinal do fundo		peça de 19 × 63 mm	21,8	26,3	120%	63	0,66	4	20,3	13,4
Longitudinal do costado		peça de 19 × 100 mm	43,6	60,0	138%	100	1,05	2	9,8	10,3
Longitudinal do convés		peça de 19 × 75 mm	27,8	32,9	118%	75	0,78	4	19,5	15,3
Baliza · caverna do costado		peça de 32 × 175 mm	251,9	271,3	108%	175	3,08	16	8,8	27,1
Hastilha na linha de centro		peça de 32 × 175 mm	251,9	271,3	108%	175	3,08	8	12,3	37,8
Vau do convés		peça de 50 × 250 mm	629,1	644,1	102%	250	6,88	8	14,4	98,8
Reforço vertical do espelho		peça de 25 × 125 mm	81,9	103,8	127%	125	1,72	4	3,5	5,9

A largura efetiva de chapeamento que trabalha junto com cada reforço sai da subseção 3.5 do Guia: 50-t (3.5.2), 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	1ª	8	4,338	11,1	0,347	1,52	316 × 467	0,500	9,29	9,0	9,4	2 × 0,47 m	8,8
ré	1ª	1	0,542	11,1	1,300	1,52	386 × 837	0,500	11,34	9,0	14,0	4 × 0,84 m	34,5

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 **8 cavernas internas**, e o painel oferece no máximo as **3** 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 7.1** com **F = 1**, porque o Guia dá tabela de F para casco (7.4) e convés (7.5) e nenhuma para antepara. 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 8,8 N/mm² (*ABS Tab. 7.2 · madeira laminada, 0,5-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 · 87,6 KG								
Chapeamento do fundo	7,1 m²	9,0 mm	33,48	10,6	2,164	0,175	72,4	5,8
Chapeamento do costado	5,1 m²	9,0 mm	24,14	7,6	2,106	0,583	50,8	14,1
Chapeamento do espelho de popa	1,2 m²	6,0 mm	3,77	1,2	0,075	0,425	0,3	1,6
Chapeamento do convés	8,3 m²	6,0 mm	26,17	8,3	2,144	0,882	56,1	23,1
REFORÇOS · 208,6 KG								
Longitudinal do fundo peça de 19 × 63 mm	4 × 5,08 m	0,66 kg/m	13,38	4,2	2,522	0,236	33,7	3,2
Longitudinal do costado peça de 19 × 100 mm	2 × 4,91 m	1,05 kg/m	10,26	3,2	2,453	0,608	25,2	6,2
Longitudinal do convés peça de 19 × 75 mm	4 × 4,88 m	0,78 kg/m	15,30	4,8	2,440	0,883	37,3	13,5
Baliza · caverna do costado peça de 32 × 175 mm	16 × 0,55 m	3,08 kg/m	27,09	8,6	2,236	0,583	60,6	15,8
Hastilha na linha de centro peça de 32 × 175 mm	8 × 1,54 m	3,08 kg/m	37,83	12,0	2,282	0,173	86,3	6,6
Vau do convés peça de 50 × 250 mm	8 × 1,80 m	6,88 kg/m	98,81	31,2	2,258	0,881	223,1	87,1
Reforço vertical do espelho peça de 25 × 125 mm	4 × 0,86 m	1,72 kg/m	5,93	1,9	0,075	0,425	0,4	2,5
ANTEPARAS · 20,0 KG								
Antepara de colisão de vante · chapa	0,35 m²	9,0 mm	1,63	0,5	4,338	0,675	7,1	1,1
Antepara de colisão de vante · prumos peça de 32 × 175 mm	2 × 0,47 m	3,08 kg/m	2,88	0,9	4,338	0,666	12,5	1,9
Antepara de colisão de ré · chapa	1,30 m²	9,0 mm	6,11	1,9	0,542	0,516	3,3	3,2
Antepara de colisão de ré · prumos peça de 32 × 175 mm	4 × 0,76 m	3,08 kg/m	9,41	3,0	0,542	0,503	5,1	4,7
Estrutura completa			316,2	100,0	2,133	0,602	674,3	190,4

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 523 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 354 kg. A estrutura calculada é 32,6% do deslocamento de 0,97 t informado no passo 1.

10 A regra de Gerr pelo livro, para conferir

S _n do livro	0,265 (com 1-2 balanço longo e 1-3 flare pronunciado)	Fórmula 1-1
a regra, em uma linha	casca laminada = 13,97 × S _n ^{0,38}	
espaçamento entre longitudinais, pelo livro	169 mm	Fórmula 11-14 e 11-15
espaçamento entre transversais, pelo livro	450 mm	Fórmula 11-14 e 11-15

REGIÃO	FÓRMULA DO LIVRO	ESPESSURA MM	O CAMINHO LONGO PEDIU MM	DIFERENÇA
Fundo	Fórmula 11-13	8,43	13,06	-35%
Costado	Fórmula 11-13	8,43	13,42	-37%
Convés	Fórmula 11-13	8,43	11,37	-26%
Espelho de popa	Fórmula 11-13, como o costado	8,43	9,95	-15%

O livro não tem regra para casco de **compensado em folha**: o capítulo 11 cobre strip-plank e cold-molded. Aqui vale a Fórmula 11-13, do cold-molded, que é a casca de madeira laminada mais próxima.

11 Observações do cálculo

- L de escantilhão de 4,60 m: o Guia ABS não declara comprimento mínimo, mas é escrito para **iate de regata oceânica** e a sua própria Tabela 7.8 manda não tomar L menor que **9,15 m**. Abaixo disso a regra está sendo extrapolada para baixo — e ela extrapola *a favor da grossura*: o fator de escala do tabuado liso, $1,09|4,2 - 1,13 \cdot \sqrt[4]{L}|$, cresce quando L diminui.
- Fundo**: FS de 1,39 pela cadeia de Gerr, abaixo do alvo de 1,5 (carga dinâmica de impacto, paper p.29). Aperte o espaçamento ou engrosse a chapa.
- Fundo**: a espessura adotada de 9,0 mm é menor que a governante de 13,06 mm (ABS 7.1).
- Costado**: FS de 0,90 pela cadeia de Gerr, abaixo do alvo de 3,0 (carga estática, paper p.29). Aperte o espaçamento ou engrosse a chapa.
- Costado**: a espessura adotada de 9,0 mm é menor que a governante de 13,42 mm (ABS 7.1).
- Espelho de popa**: FS de 0,76 pela cadeia de Gerr, abaixo do alvo de 3,0 (carga estática, paper p.29). Aperte o espaçamento ou engrosse a chapa.
- Espelho de popa**: a espessura adotada de 6,0 mm é menor que a governante de 9,95 mm (ABS 7.1).
- Convés**: FS de 0,66 pela cadeia de Gerr, abaixo do alvo de 3,0 (carga estática, paper p.29). Aperte o espaçamento ou engrosse a chapa.
- Convés**: flecha de 4,3 mm, ou $b/\delta = 80:1$, abaixo do admissível de 100:1 do paper (p.29).
- Convés**: a espessura adotada de 6,0 mm é menor que a governante de 11,37 mm (ABS 7.1).
- Regra de Gerr**: O livro não tem regra para casco de **compensado em folha**: o capítulo 11 cobre strip-plank e cold-molded. Aqui vale a Fórmula 11-13, do cold-molded, que é a casca de madeira laminada mais próxima.
- A regra do livro de Gerr declara valer para monocasco de 3 a 37 m, até 45 nós e razão deslocamento-comprimento entre 100 e 275. Aqui ela está fora por: **razão D/L de 337, fora de 100 a 275**. A coluna do ABS não depende disso.
- No cálculo do S_n entrou a correção **1-2 balanço longo e 1-3 flare pronunciado** da própria Fórmula 1-1.
- E do compensado tomado como 0,60-E da espécie — FORA DA FONTE. · O Guia ABS não traz equação nem propriedade para compensado: 4.9 só exige qualidade naval. Aqui ele é calculado por 7.1, como madeira laminada.

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:

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

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/mm². 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 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 COLUNA
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 antepara estanque 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 impacto = ruptura $\div \sigma$, 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.

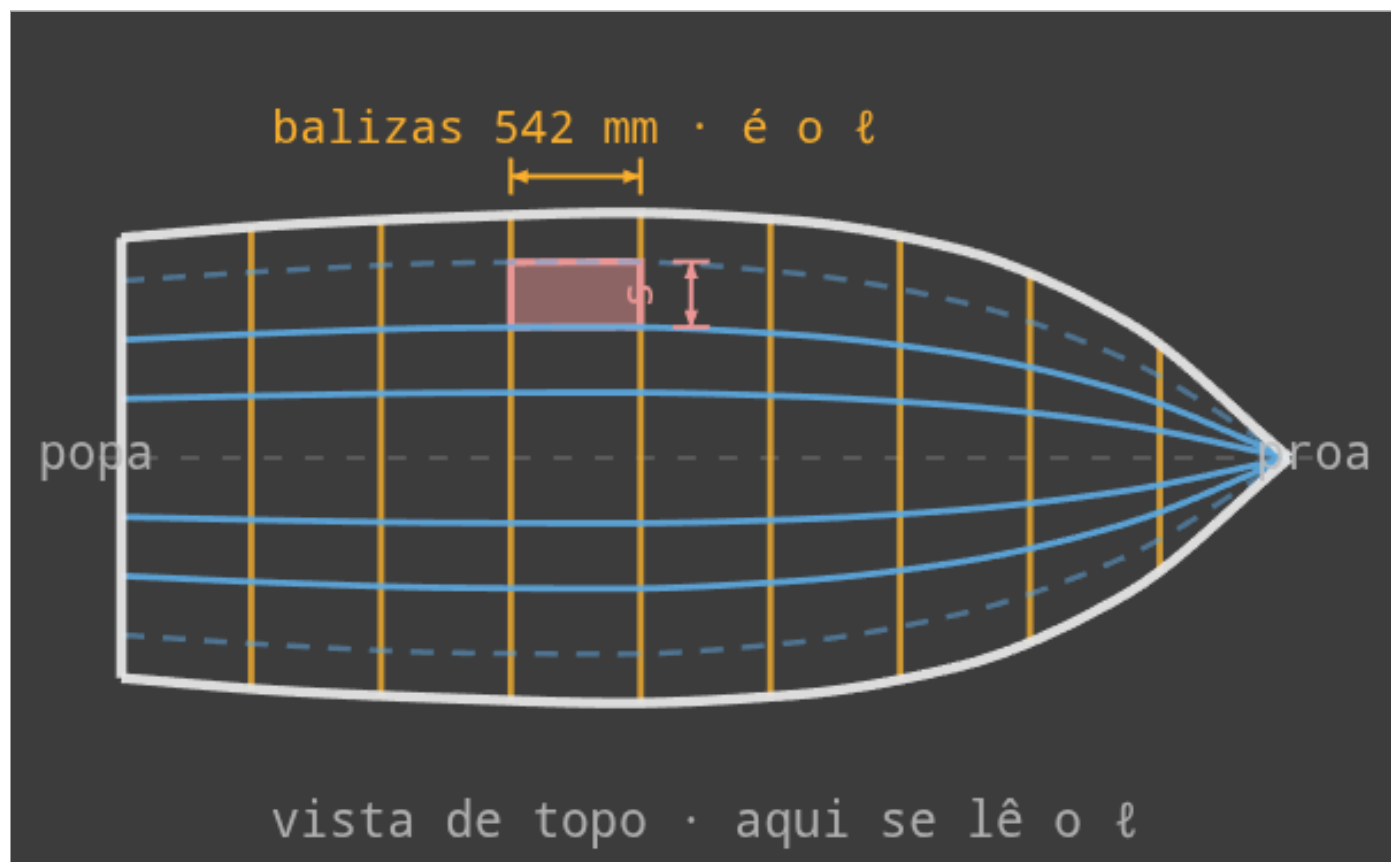
Fonte B — Dave Gerr, The Elements of Boat Strength. O livro completo, pelo acervo desta pasta. Daqui vem o caminho curto: o número S_n (Fórmula 1-1, com as correções 1-2 e 1-3) e as espessuras diretas — 4-1, 4-2 e 4-4 em fibra; 9-1, 9-3 e 9-19 em madeira; 11-13 em casca laminada; 15-1A, 15-2A, 15-4A, 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.

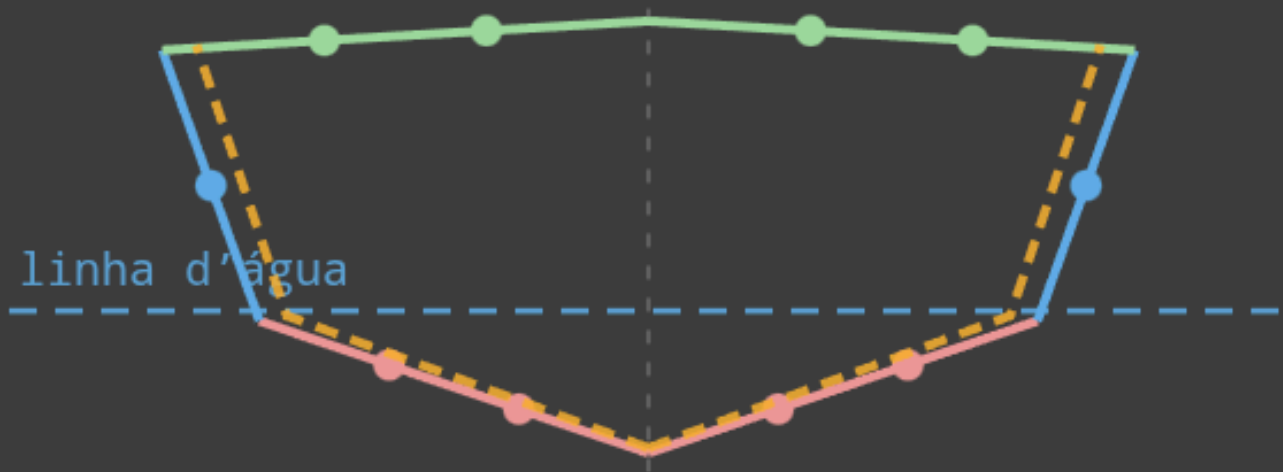
Onde o painel decide por conta própria. Nenhuma das fontes traz casco de **compensado em folha**: o ABS só exige qualidade naval na subseção 4.9, e o livro de Gerr cobre strip-plank e cold-molded. Aqui o compensado é calculado como madeira laminada — pela equação 7.1 do ABS com o módulo de ruptura tomado 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

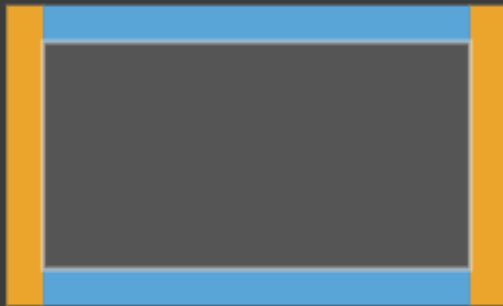
Fundo	2 longit.	9,0 mm
Costado	1 longit.	9,0 mm
Convés	2 longit.	6,0 mm



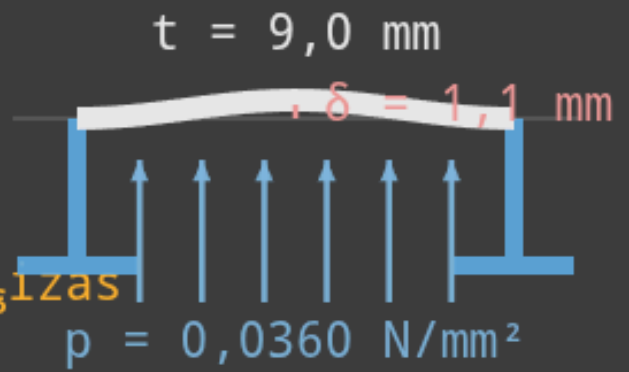
Seção transversal – os longitudinais em corte dão o s

s = 289 mm · entre longitudinais

longitudinais

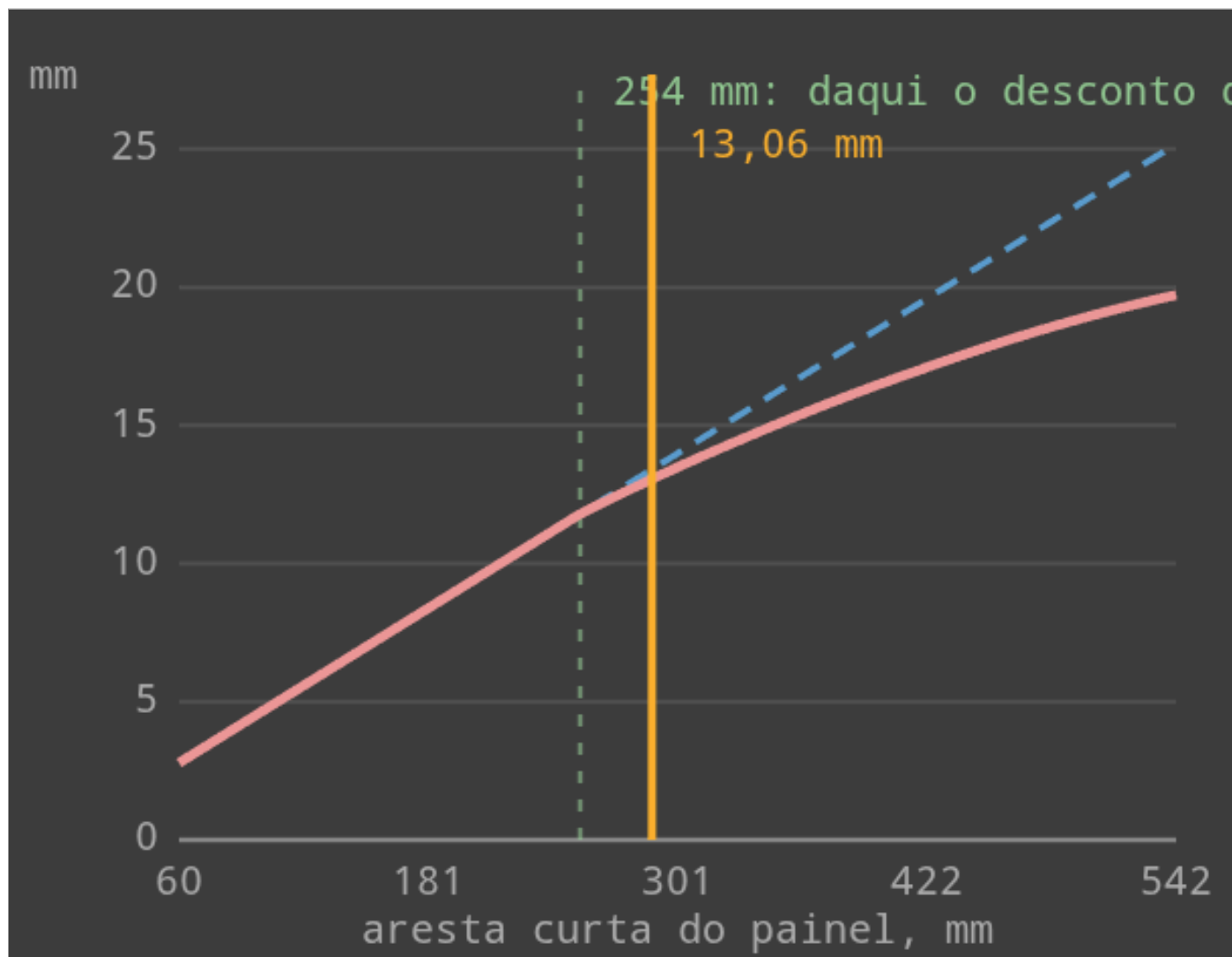


ℓ = 542 mm · entre balizas

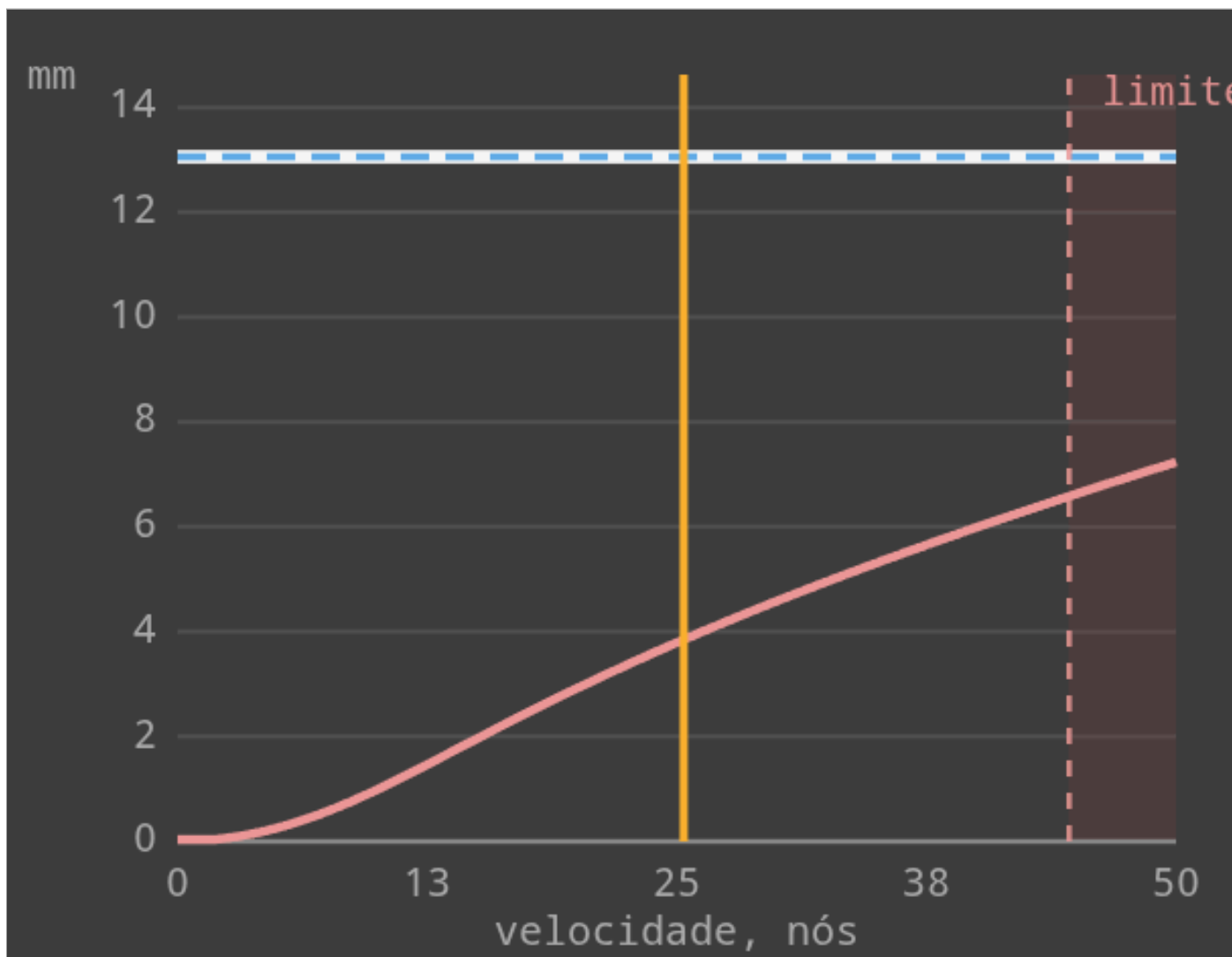


nda a meter na mediana das distâncias 1,88 chapas = a 0,5101 e

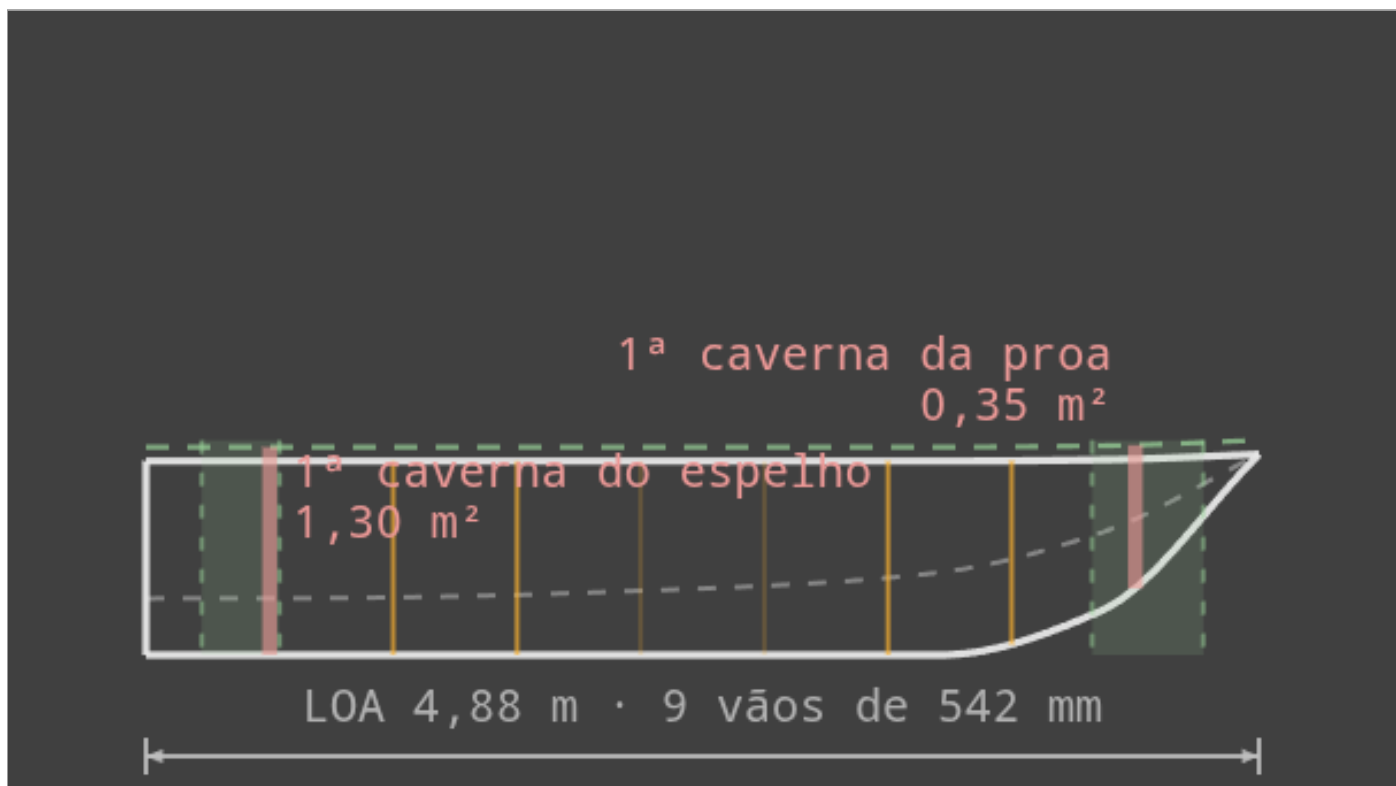
O painel em planta e em corte, com a flecha sob a pressão



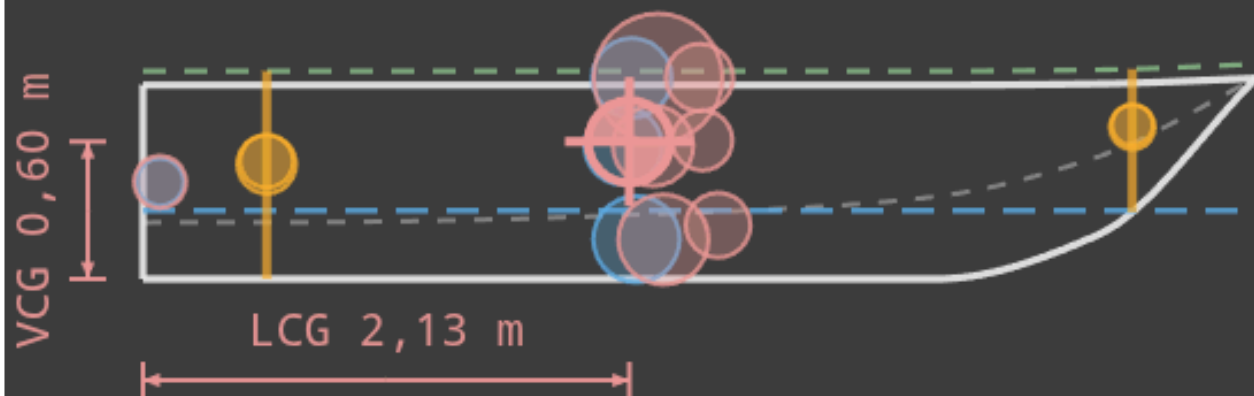
Espessura exigida em função da aresta curta do painel



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.