

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	1 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

AL-PRO-0000-MW-CAC-00004

Cálculo de lastragem

02.0	29/04/2025	Revisão com comentários AdA	PRO	GSI	ACE
01.0	17/02/2025	Documento inicial	PRO	GSI	ACE
Rev.	Dados	Descrição	Criado	Revisto	Aprovado

Editado para:

Informação		Compra	
Aprovação	X	Construção	
Pedido de licitação		Conforme construído	

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 2 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Conteúdo

1. INTRODUÇÃO	5
1.1. Descrição geral do sistema de dessalinização	5
1.2. Objetivo desde documento	5
2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA.....	6
2.1. Documentos do projeto	6
2.2. Normativa e recomendações internacionais.....	6
3. METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	7
4. COEFICIENTES HIDRODINÂMICOS	10
5. CONDICIONANTES DA CONCEÇÃO	12
5.1. Características das condutas	12
5.2. Ondas	12
5.2.1. Captação	12
5.2.2. Rejeição.....	14
5.3. Correntes	16
5.4. Outros parâmetros	16
6. REQUERIMENTOS DE LASTRAGEM	18
6.1. Captação	18
6.2. Rejeição	21
7. DESENHO DAS PEÇAS E DISTRIBUIÇÃO AO LONGO DAS CONDUTAS	23
8. CÁLCULO ESTRUTURAL DOS BLOCOS DE LASTRO	27
8.1. Materiais	27
8.2. Modelo estrutural Lastre Superior	27
8.3. Modelo estrutural Lastre Inferior	32
8.4. Cálculo dos parafusos de lastro	34
8.5. Cálculo das barras de reforço dos olhais de içamento	35
8.6. Resumo.....	39

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	3 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Ilustrações

Ilustração 1. Influência de um contorno fixo no coeficiente de arrasto de um cilindro circular (Fonte: DNVGL-RP-C205)	11
Ilustração 2. Valores recomendados para o coeficiente de massa adicionado (esquerda) e coeficiente de elevação (direita) para cilindros próximos de contornos fixos (Fonte: DNVGL-RP-C205).	11
Ilustração 3. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da captação para maré alta.	14
Ilustração 4. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da captação para maré baixa.	14
Ilustração 5. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da rejeição para maré alta.	16
Ilustração 6. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da rejeição para maré baixa.	16
Ilustração 7. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1200, PM).	18
Ilustração 8. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1200, BM).	18
Ilustração 9. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1000, PM).	19
Ilustração 10. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1000, BM).	19
Ilustração 11. Máximo requisito de lastro para conduta de captação DN 1200.	20
Ilustração 12. Máximo requisito de lastro para conduta de captação DN 1000.	20
Ilustração 13. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Rejeição DN1000, PM).	21
Ilustração 14. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Rejeição DN1000, BM).	21
Ilustração 15. Máximo requisito de lastro para conduta de rejeição DN 1000.	22
Ilustração 16. Desenho-esquema dos blocos de lastro	23
Ilustração 17. Vista de elevação dos blocos de lastro (Captação DN1200)	24
Ilustração 18. Vista de elevação dos blocos de lastro (Captação DN1000)	24
Ilustração 19. Vista de elevação dos blocos de lastro (Rejeição DN1000)	25
Ilustração 20. Evolução do requisito de lastro e lastro aplicado (Captação DN1200).	26
Ilustração 21. Evolução do requisito de lastro e lastro aplicado (Captação DN1000).	26
Ilustração 22. Evolução do requisito de lastro e lastro aplicado (Rejeição DN1000).	26
Ilustração 23.- Modelo SAP2000 Caso de carga 1	27
Ilustração 24.- Elevação do lastro L=0,8 m	28
Ilustração 25.- Elevação do lastro L=1 m	28

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	4 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Ilustração 26.- Elevação do lastro

33

Tabelas

Tabela 1. Características das condutas.	12
Tabela 2. Cenários modelados para a conduta de captação para maré alta e maré baixa.	13
Tabela 3. Cenários modelados para a conduta de rejeição para maré alta e maré baixa.	15
Tabela 4. Dimensões dos blocos de lastro	23
Tabela 5. Distribuição dos blocos na condutas.	25
Tabela 7.- Resultados SAP2000	30
Tabela 8.- Resultados SAP2000	33
Tabela 9.- Vista general de los tornillos de los balastos de los conductos	35
Tabela 10.- Resumo do reforço do lastro	39

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	5 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

1. INTRODUÇÃO

A região do Algarve tem vindo a sofrer, ao longo dos últimos anos, de uma seca prolongada associada a uma situação de escassez hídrica que é já considerada estrutural. Assim, apesar da disponibilidade de água em Portugal ser acima da média europeia, o abastecimento de água em Portugal, nomeadamente na região do Algarve, está sob stress, e espera-se que o problema aumente com as alterações climáticas. Por estes motivos o Plano Regional de Eficiência Hídrica da Região do Algarve, elaborado em 2020 pela APA e pela Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural (DGADR), identificou como medida estrutural possível para reforçar a capacidade de produção de água, a criação de um sistema de dessalinização na região do Algarve, com o objetivo de assegurar uma origem alternativa e fiável para o abastecimento de água potável à região do Algarve.

1.1. Descrição geral do sistema de dessalinização

O Sistema de Dessalinização a implementar na Fase 1 (Ano 0) permitirá a produção de $500 \text{ L/s} = 1800 \text{ m}^3/\text{h} = 43.200 \text{ m}^3/\text{dia} = 16 \text{ hm}^3/\text{ano}$ de água potável. O sistema ficará preparado para ser ampliado no futuro (Fase 2 – Ano Horizonte), através da instalação dos equipamentos necessários na EE1 e EDAM, para a produção de $750 \text{ L/s} = 2.700 \text{ m}^3/\text{h} = 64.800 \text{ m}^3/\text{dia} = 24 \text{ hm}^3/\text{ano}$ de água potável. Toda a construção civil, captação, condutas de água bruta e água tratada e restantes infraestruturas serão desde já executadas para a Fase 2.

O dimensionamento da EDAM terá em conta que, na Fase 1, o caudal de produção de água potável poderá variar entre o caudal nominal do Ano 0 e um caudal mínimo de 25% deste valor. Será ainda tido em conta que, após ampliação, a variação de caudal de água tratada será entre 25% do caudal do Ano 0 e o caudal nominal do Ano HP.

1.2. Objetivo deste documento

O objetivo deste documento é calcular as necessidades de lastrado para as condutas, de forma a protegê-las das ações do oleaje durante a fase construtiva, entre o fundeamento das condutas e o preenchimento da vala. Serão analisados os parâmetros necessários para determinar a quantidade e a distribuição do lastrado, garantindo a estabilidade e a proteção das condutas contra os impactos das ondas e correntes marítimas.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 6 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

2. DOCUMENTOS DE REFERÊNCIA

Este documento toma como referência os seguintes documentos do projeto, além da citada normativa aplicável.

2.1. Documentos do projeto

- AL-PRO-0000-MW-REP-00001. Relatório do estudo metoceanográfico

2.2. Normativa e recomendações internacionais

A regulamentação seguida no presente estudo é a regulamentação portuguesa em vigor, quer de origem nacional, quer de origem europeia ou internacional, nomeadamente:

- DNVGL-RP-F109 On bottom stability design of submarine pipelines
- DNVGL-RP-C205 Environmental Conditions and Environmental Loads (2017).
- ROM 0.5-05. Recomendaciones geotécnicas para Obras Marítimas y Portuarias (recomendações geotécnicas).
- ACI 318 Building code requirements for structural concrete.
- ASCE7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures
- ASTM A-36/A Standard Specification for Carbon Structural Steel
- ASTM A-6/A Standard Specification for General Requirements for Rolled Structural Steel Bars, Plates, Shapes, and Sheet Piling

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 7 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

3. METODOLOGIA DE CÁLCULO

A metodologia de cálculo do lastro das condutas está baseado nos critérios de estabilidade definidos na DNVGL-RP-F109 (*On bottom stability design of submarine pipelines*), que incluem critérios de estabilidade lateral (segurança face ao deslizamento) e estabilidade vertical:

$$\frac{\mu w_s + F_R}{F_Y + \mu F_z} \geq F_S$$

e

$$\frac{w_s}{F_z} \geq F_S$$

Em que:

- μ : Coeficiente de atrito.
- w_s : peso total da conduta $w_s = W_{\text{conduta}} + W_{\text{lastro}}$ (conduta e lastros).
- F_z : força de elevação.
- F_Y : Força hidrodinâmica horizontal (arrasto e inércia).
- F_R : Força de resistência passiva ao solo (Neste caso, não se considera).
- F_S : Coeficiente de segurança

As forças de arrasto, inércia e elevação são causadas pela ação das ondas e das correntes no tubo e são calculadas utilizando as equações propostas pela DNV-RP-C205 (*Environmental conditions and environmental loads*) na “Recommended practice. On bottom stability design of submarine pipelines”.

As forças desestabilizadoras na conduta são a sobreposição de um termo em fase com a aceleração (inércia) e outro termo em fase com a velocidade (arrasto), e cuja equação é a seguinte

$$F_Y = \frac{1}{2} C_d \rho A u |u| + C_m \rho V \frac{du}{dt}$$

$$F_z = \frac{1}{2} C_L \rho A u |u|$$

- C_d : Coeficiente de arrasto.
- C_m : Coeficiente de inércia.
- C_L : Coeficiente de elevação.
- A : Área da secção transversal por unidade de comprimento (m²/m). No caso de um tubo, este valor coincide com o diâmetro do tubo..
- ρ_w : Densidade da água de mar (kg/m³).

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 8 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

- u : Velocidade das partículas do fluido (m/s).
- du/dt : Aceleração de partículas fluidas (m/s²).
- V : Volume do obstáculo por unidade de comprimento (m³/m). No caso do tubo, é equivalente à área da superfície da secção.

O termo da força de resistência passiva ao solo é considerado nulo, dada a impossibilidade de o estimar. Deste modo não são aumentadas as forças estabilizadoras, pelo que esta hipótese está do lado da segurança.

A obtenção dos coeficientes de arrasto, de inércia e de sustentação é descrita na secção 4.

A velocidade e a aceleração do fluido devido à onda serão obtidas a partir da formulação da teoria linear das ondas:

$$u = \frac{H}{2} \frac{gT}{L} \frac{\cosh 2\pi(z+d)/L}{\cosh 2\pi d/L} \cos \theta; a = \frac{g\pi H}{L} \frac{\cosh 2\pi(z+d)/L}{\cosh 2\pi d/L} \sin \theta$$

Em que:

- H : altura de onda (m)
- g : aceleração da gravidade ($g = 9.81 \text{ m/s}^2$)
- T : período das ondas (s)
- L : comprimento de onda (m)
- z : altura vertical das partículas ($z=0$, nível do mar) (m)
- d : profundidade do fundo do mar (m)
- θ : fase da onda ($[0 \ 2 \ \pi]$)

Como a aceleração e a velocidade estão desfasadas, os termos de inércia e de arrasto também estarão desfasados, pelo que é necessário calcular os valores de ambos os termos entre 0 e 2π , e determinar o máximo da soma. No caso da ação devida à corrente, apenas o termo de arrastamento existirá porque se trata de um fluxo estacionário.

De acordo com a DNVGL-RP-F109, as forças horizontais e verticais podem ser reduzidas por meio de coeficientes $r_{\text{tot},y}$ e $r_{\text{tot},z}$, dependendo da geometria da vala ou da penetração no fundo marinho. Neste caso, será aplicado unicamente um coeficiente de redução com base na geometria da vala:

$$r_y = 1.0 - 0.18 \cdot (\theta - 5)^{0.25} \cdot \left(\frac{z_t}{D}\right)^{0.42}$$

$$r_z = 1.0 - 0.14 \cdot (\theta - 5)^{0.43} \cdot \left(\frac{z_t}{D}\right)^{0.46}$$

Em que:

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 9 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

- θ : Ângulo de inclinação da vala medido no sentido contrário ao dos ponteiros do relógio a partir da vertical ($^{\circ}$)
- z_t : Altura da vala, medida a uma distância não superior a 3 vezes o diâmetro da tubagem (m).
- D: Diâmetro da tubagem (m)

A verificação do critério de estabilidade lateral é crítica, pelo que o peso necessário dos lastros pode ser obtido resolvendo a equação correspondente:

$$W_{lastro} \geq \frac{F_S(F_Y + \mu F_Z)}{\mu} - W_{conduta}$$

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 10 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

4. COEFICIENTES HIDRODINÂMICOS

No equilíbrio de forças que é avaliado para garantir a estabilidade do tubo, é necessário avaliar os termos de inércia e arrasto, através da equação de Morison, e a força de elevação. Os três termos de força são determinados pelos coeficientes de inércia (C_i), arrasto (C_D) e elevação (C_L).

Os valores para estes parâmetros foram obtidos seguindo as recomendações dadas pela DNV-RP-C205, por ser a referência mais recente e a que fornece o tratamento mais completo e rigoroso dos parâmetros, que são determinados em função da distância relativa ao fundo (H/D) e do número de Keulegan-Carpenter (K_C).

A distância ao fundo de ambos os tubos, imisário e emissário, foi considerada como sendo de 0,3 m.

O número de Keulegan-Carpenter é definido como $K_C = \frac{v_m T}{D}$, onde v_m é a velocidade orbital máxima da partícula fluida (m/s), T é o período da onda (s) e D é o diâmetro do tubo (m). O K_C foi calculado para cada ponto ao longo do traço.

O cálculo do coeficiente de arrasto (C_D) para tubos próximos de contornos fixos é obtido a partir da seguinte expressão:

$$C_D = C_{DS}(\Delta) \cdot \Psi(K_C) \cdot C_{D\infty}$$

Onde $C_{DS}(\Delta)$, $\Psi(K_C)$ e C_π são obtidos a partir das seguintes expressões:

$$C_{DS}(\Delta) = \begin{cases} 0,65; & \text{si } \Delta < 10^{-4} \\ (29 + 4 \log_{10}(\Delta))/20; & \text{si } 10^{-4} < \Delta < 10^{-2} \\ 1,05; & \text{si } \Delta > 10^{-2} \end{cases}$$

$$\Psi(K_C) = \begin{cases} C_\pi + 0.1(K_C - 12); & \text{si } 2 \leq K_C < 12 \\ C_\pi - 1; & \text{si } 0.75 \leq K_C < 2 \\ C_\pi - 1 - 2(K_C - 0.75); & \text{si } K_C \leq 0.75 \end{cases}$$

$$C_\pi = 1.5 - 0.024 \cdot \left(\frac{12}{C_{DS}} - 10 \right)$$

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 11 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

$\Delta = k/D$; sendo k a rugosidade superficial da tubagem e D o diâmetro da mesma. Neste caso, foi considerado $k = 0,1$ mm, de forma que $\Delta = 0,65$ para ambas as condutas.

O rácio $C_D/C_{D\infty}$ é obtido a partir da figura seguinte:

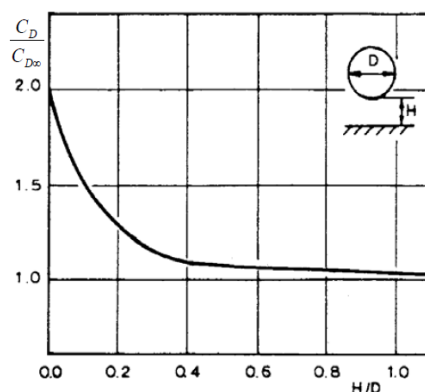


Ilustração 1. Influência de um contorno fixo no coeficiente de arrasto de um cilindro circular (Fonte: DNVGL-RP-C205)

O coeficiente de inércia, C_i , é definido como $1+C_A$. Os valores do coeficiente de massa adicionado (C_A) e do coeficiente de elevação (C_L) para o caso de tubos próximos de um contorno fixo são obtidos a partir das figuras seguintes:

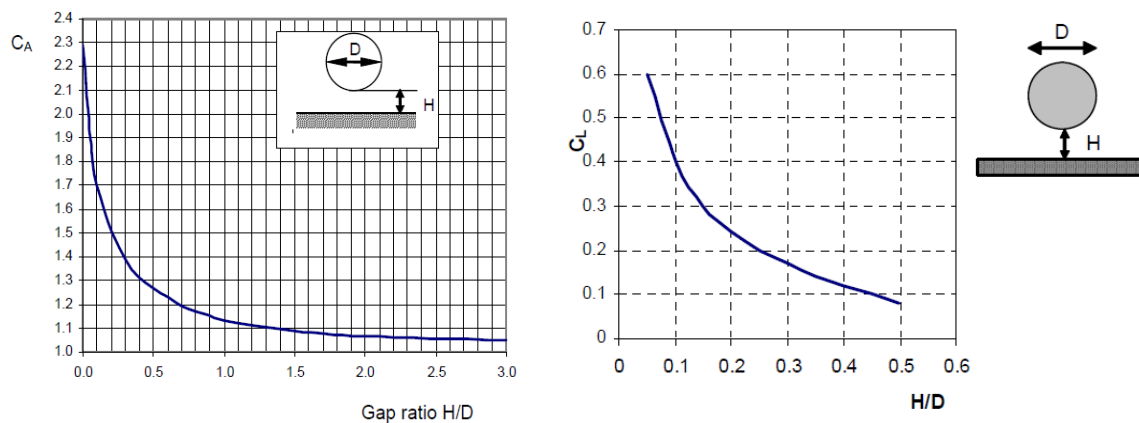


Ilustração 2. Valores recomendados para o coeficiente de massa adicionado (esquerda) e coeficiente de elevação (direita) para cilindros próximos de contornos fixos (Fonte: DNVGL-RP-C205).

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 12 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

5. CONDICIONANTES DA CONCEÇÃO

5.1. Características das condutas

As configurações das condutas serão constituídas por condutas submarinas em PEAD. No trecho inicial, até atingir a cota de pelo menos 4,6 mZH (para a captação) e 5,0 mZH (para a rejeição), a conduta deverá ser executada por uma técnica de microtunelagem, a partir da qual poderá ser colocada em vala no fundo marinho.

As condutas serão realizadas com tubagem em PEAD maciço e SDR 26 em toda a longitude. Este SDR foi selecionado pois no trecho em túnel é o tubo de concreto que suporta todas as cargas do terreno não o de PEAD e, portanto, mantém-se o mesmo SDR tanto para o trecho em túnel como em vala.

Cada conduta PEAD deve ser instalada num túnel de betão armado de DN1800 mm na secção inicial e continuar até o final em vala.

As características das condutas são apresentadas no quadro seguinte:

Conduta	Captação 1200	Captação 1000	Rejeição 1000
Diâmetro exterior (mm)	1200	1000	1000
SDR	26	26	26
Espessura (mm)	45,9	38,2	38,2
Diâmetro interior (mm)	1108,2	923,6	923,6
Material	PEAD	PEAD	PEAD
Densidade (kg/m ³)	960	960	960

Tabela 1. Características das condutas.

5.2. Ondas

A altura de onda significativa ao longo dos tubos, associada a $T_R=10$ anos, de acordo com os requisitos do projeto para o cálculo da estabilidade das tubagens em fase de construção, foi empregada para estes cálculos. Deste modo, foi analisada a variação da altura de onda em função da profundidade e da distância à linha de costa. As simulações foram efectuadas para os níveis de maré alta (+3,00mNMM) e maré baixa (-1,8 mNMM).

5.2.1. Captação

A tabela seguinte contém os casos simulados para cada direção, bem em maré alta, bem como em maré baixa.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	13 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Maré alta			
Cenário	Hs (m)	Tp(s)	Dir (°N)
1	2,17	10	135
2	2,17	18	135
3	3,4	8	157,5
4	3,4	12	157,5
5	3,38	10	180
6	3,38	12	180
7	5,05	12	202,5
8	5,05	14	202,5
9	5,05	18	202,5
10	4,89	12	225
11	4,89	14	225
12	4,89	16	225
13	2,42	10	247,5
14	2,42	12	247,5
15	2,42	16	247,5
16	1,11	6	270
17	1,11	8	270
18	1,11	10	270
Maré baixa			
Cenário	Hs (m)	Tp(s)	Dir (°N)
1	1,62	8	135
2	1,62	10	135
3	3,08	10	157,5
4	3,08	12	157,5
5	3,44	10	180
6	3,44	12	180
7	4,58	12	202,5
8	4,58	14	202,5
9	4,58	18	202,5
10	4,13	12	225
11	4,13	14	225
12	4,13	16	225
13	1,65	8	247,5
14	1,65	10	247,5
15	0,94	6	270
16	0,94	8	270
17	0,94	12	270

Tabela 2. Cenários modelados para a conduta de captação para maré alta e maré baixa.

As Ilustrações seguintes mostram a evolução da altura da onda ao longo dos tubos após a execução dos casos.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	14 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

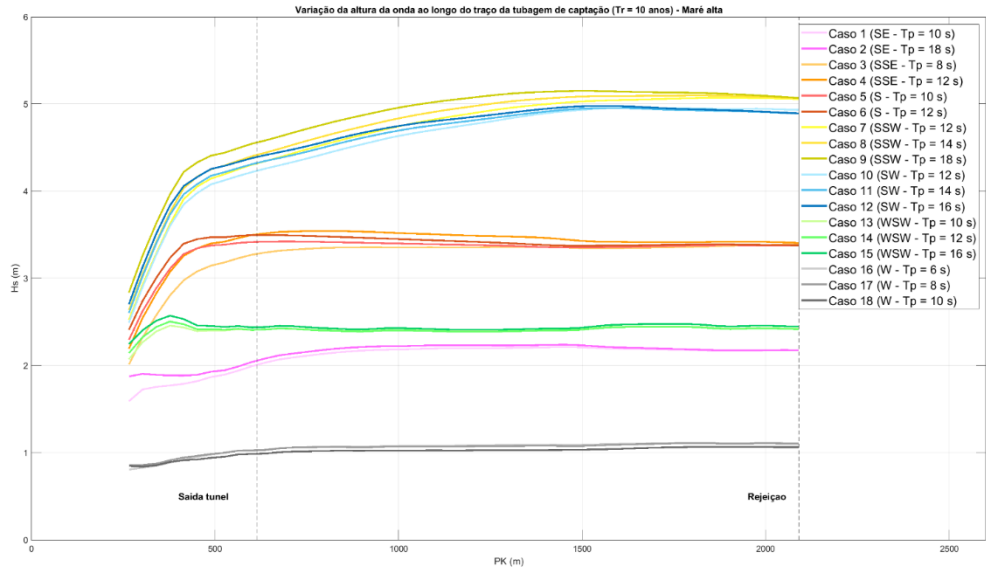


Ilustração 3. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da captação para maré alta.

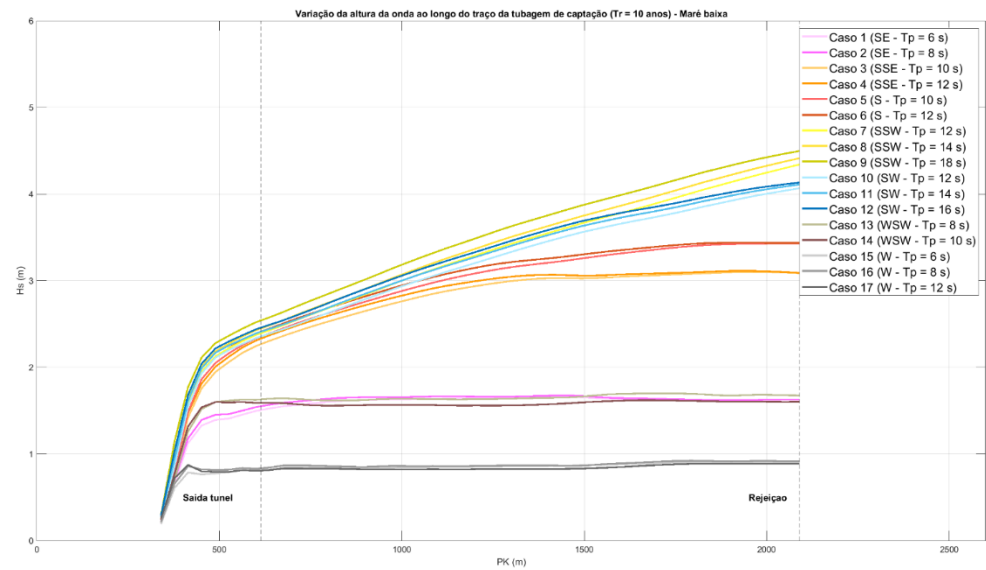


Ilustração 4. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da captação para maré baixa.

5.2.2. Rejeição

A tabela seguinte contém os casos simulados para cada direção, bem em maré alta, bem como em maré baixa.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	15 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Maré alta			
Cenário	Hs (m)	Tp(s)	Dir (°N)
1	1,82	10	135
2	3,24	12	157,5
3	3,37	10	180
4	3,37	12	180
5	4,59	12	202,5
6	4,59	14	202,5
7	4,59	18	202,5
8	4,41	14	225
9	4,41	16	225
10	2,7	14	247,5
11	2,7	16	247,5
12	1,05	8	270
13	1,05	10	270
1	1,82	10	135
2	3,24	12	157,5
3	3,37	10	180
4	3,37	12	180
5	4,59	12	202,5
Maré baixa			
Cenário	Hs (m)	Tp(s)	Dir (°N)
1	1,34	6	135
2	1,34	8	135
3	1,34	10	135
4	3,06	8	157,5
5	3,06	12	157,5
6	3,13	10	180
7	3,13	12	180
8	3,13	14	180
9	3,75	14	202,5
10	3,75	16	202,5
11	3,36	10	225
12	3,36	12	225
13	3,36	18	225
14	1,75	8	247,5
15	1,75	10	247,5
16	0,84	6	270
17	0,84	8	270

Tabela 3. Cenários modelados para a conduta de rejeição para maré alta e maré baixa.

As Ilustrações seguintes mostram a evolução da altura da onda ao longo dos tubos após a execução dos casos.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 16 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

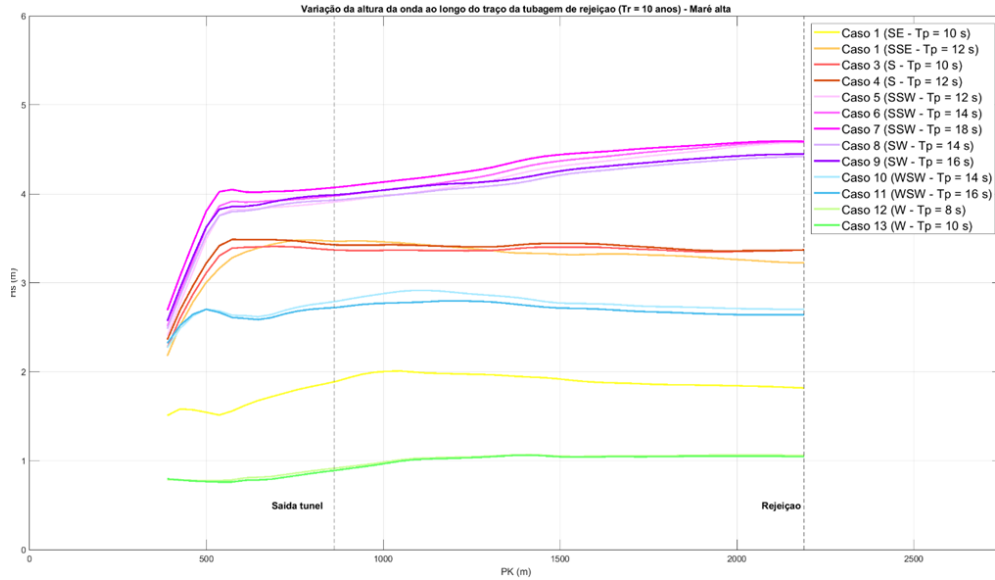


Ilustração 5. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da rejeição para maré alta.

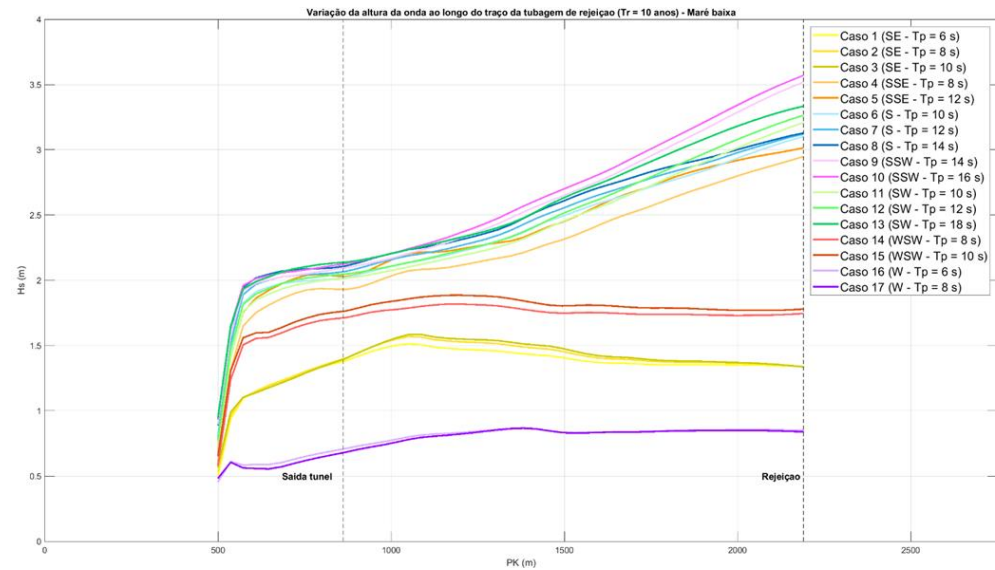


Ilustração 6. Evolução da altura significativa da onda ao longo do traço da rejeição para maré baixa.

5.3. Correntes

De acordo com as disposições do Caderno de Encargos, considera-se uma velocidade de corrente de 0,5 m/s com uma direção perpendicular às condutas.

5.4. Outros parâmetros

Outros parâmetros de projeto a considerar no cálculo da estabilidade das condutas no fundo do mar são apresentados de seguida:

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 17 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

- Considera-se um coeficiente de atrito a considerar é $\mu = 0,6$ entre os elementos pré-fabricados e o fundo do mar, según o Caderno de Encargos.
- Coeficiente de segurança Considera-se um coeficiente de segurança de 1,4.
- Rugosidade do tubo: $k=0,0001$ m.
- Densidade do betão: $\rho_c = 2400$ kg/m³.
- Densidade da água do mar: $\rho_w = 1025$ kg/m³.
- Lastragem mínima do 40% seguindo o Cuaderno de Encargos

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	18 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

6. REQUERIMENTOS DE LASTRAGEM

Após a aplicação da metodologia de cálculo com as condições de projeto acima descritas, obtém-se para cada caso o lastro mínimo necessário para garantir a estabilidade das condutas no fundo.

6.1. Captação

As seguintes figuras mostram os resultados obtidos para todos os casos simulados, em preia-mar e baixa-mar, para as duas condutas de captação (DN1200 e DN1000).

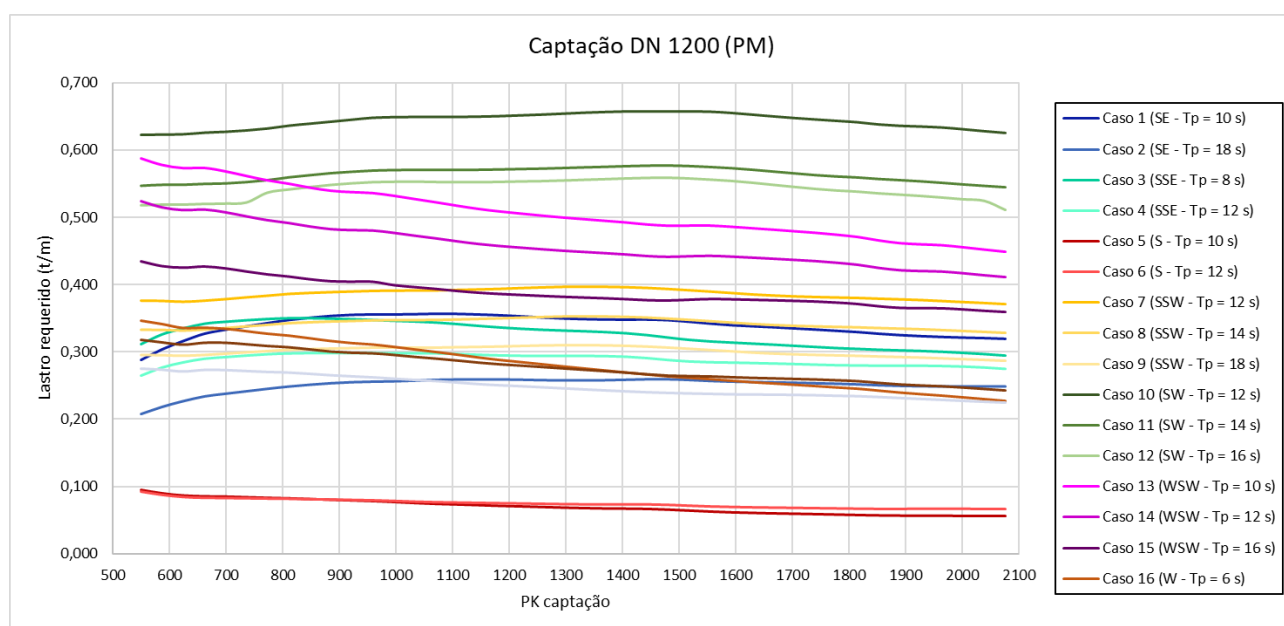


Ilustração 7. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1200, PM).

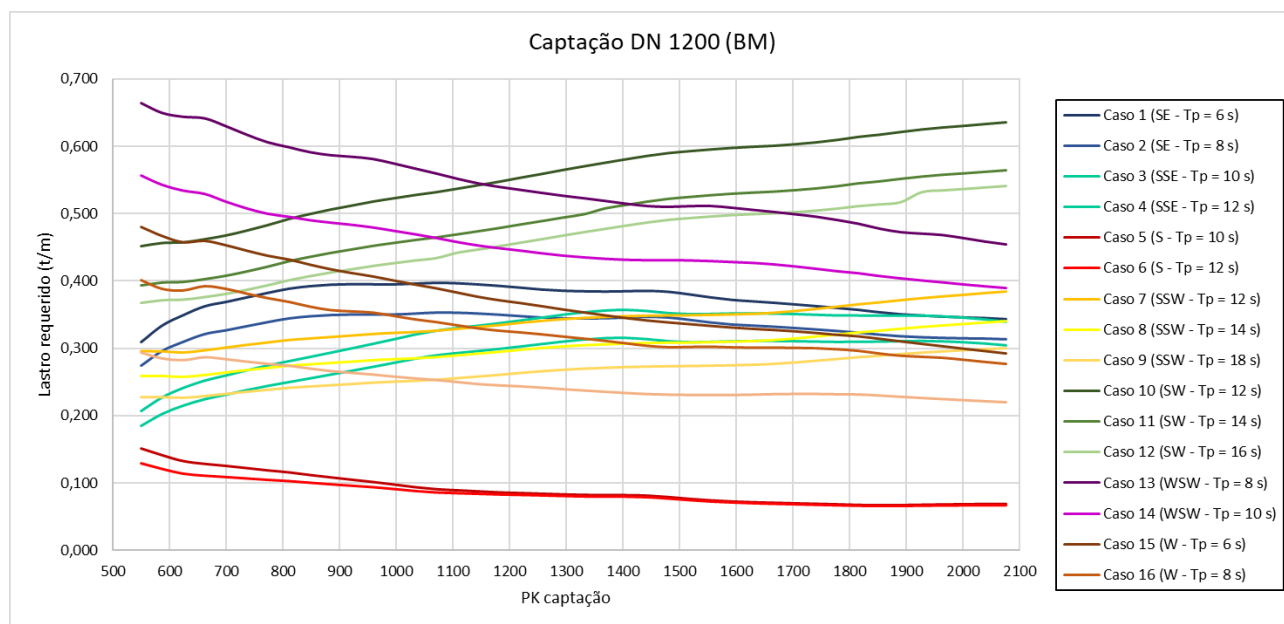


Ilustração 8. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1200, BM).

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 19 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

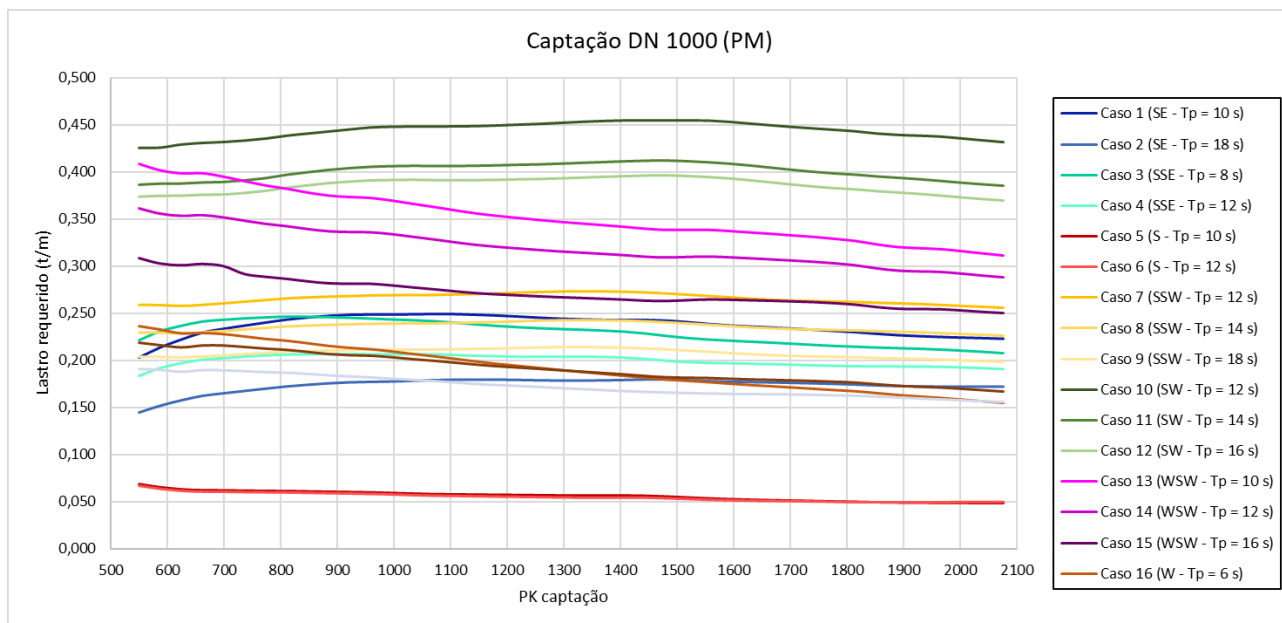


Ilustração 9. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1000, PM).

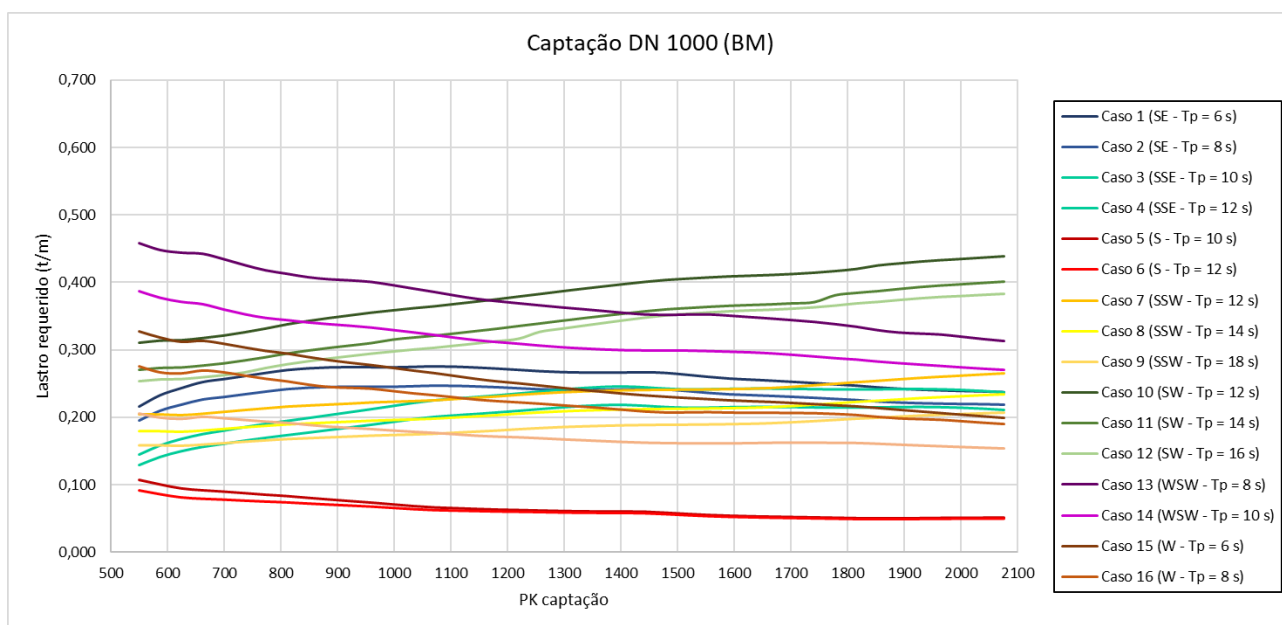


Ilustração 10. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Captação DN1000, BM).

Observa-se que a ondulação proveniente de SW é a mais desfavorável ao longo de toda a conduta, exceto para os primeiros metros da vala (~PK 564-PK 1150), onde predomina a ondulação proveniente de WSW em baixa-mar.

As seguintes figuras mostram, para as duas condutas de captação, o requisito máximo de lastro para preia-mar e baixa-mar, assim como o valor máximo entre ambos os níveis de maré.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 20 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

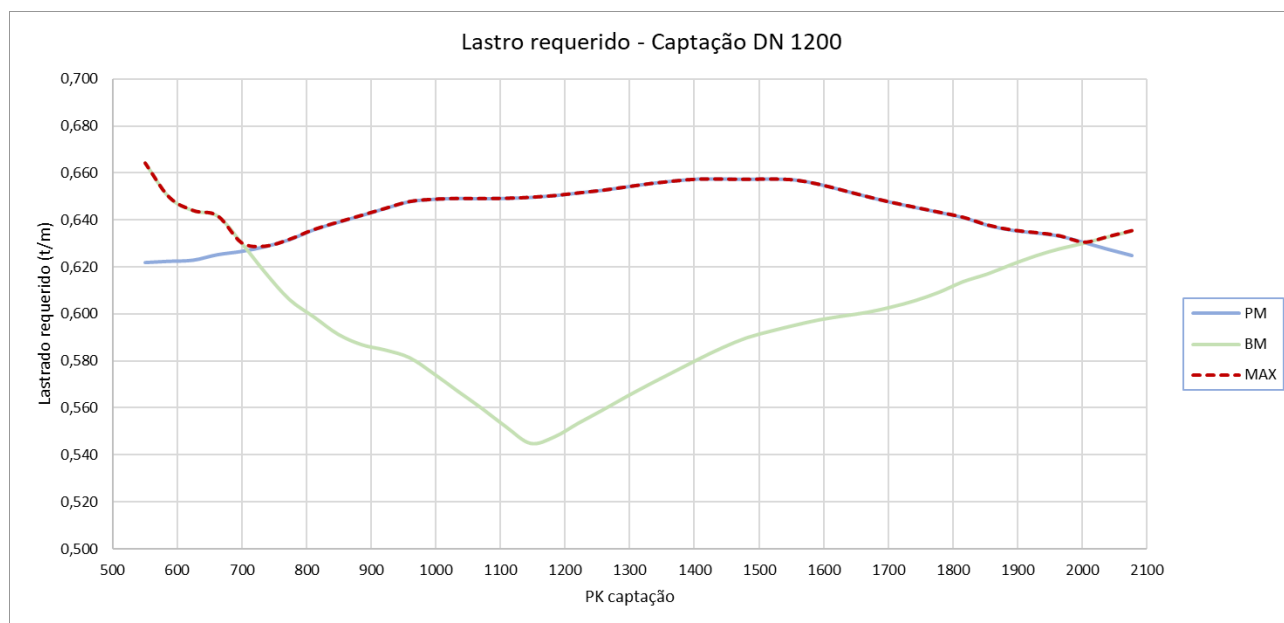


Ilustração 11. Máximo requisito de lastro para conduta de captação DN 1200.

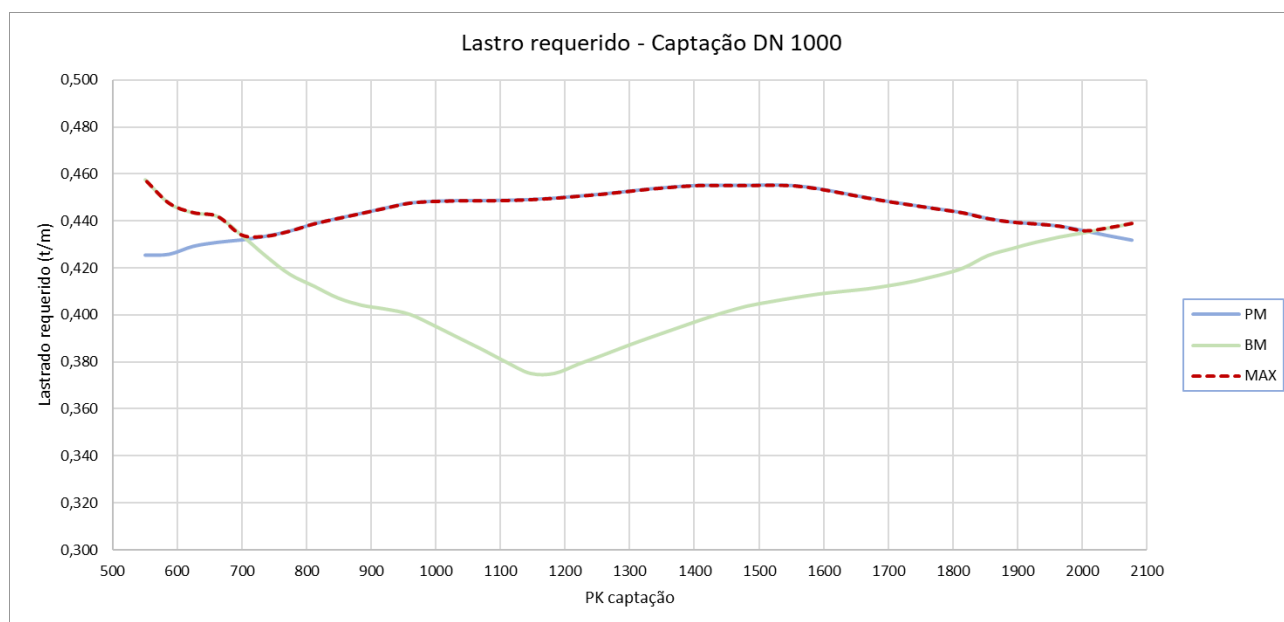


Ilustração 12. Máximo requisito de lastro para conduta de captação DN 1000.

Para a conduta de 1200, o requisito máximo de lastro varia ao longo da condução entre 0,63 t/m e 0,67 t/m, enquanto para a conduta de 1000 varia entre 0,43 t/m e 0,46 t/m.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 21 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

6.2. Rejeição

As seguintes figuras mostram os resultados obtidos para todos os casos simulados, em preia-mar e baixa-mar, para a conduta de rejeição (DN1000).

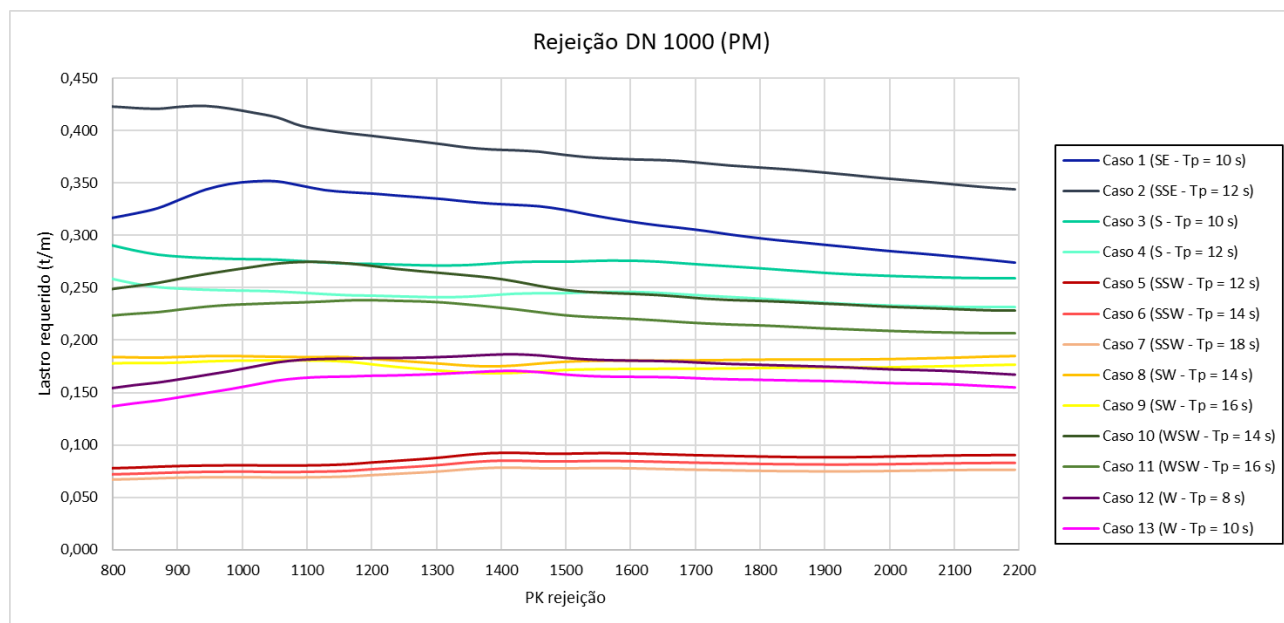


Ilustração 13. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Rejeição DN1000, PM).

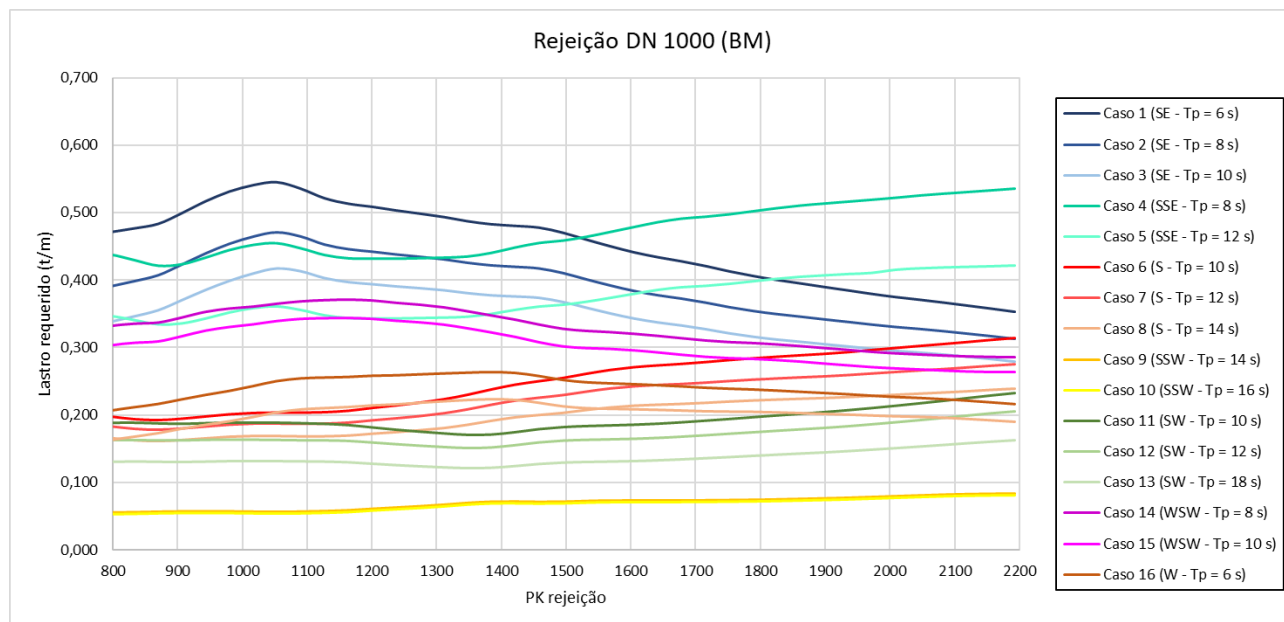


Ilustração 14. Evolução da lastro requerido para os casos simulados (Rejeição DN1000, BM).

Observa-se que a ondulação proveniente de SSE é a mais desfavorável ao longo de toda a conduta, exceto para os primeiros metros da vala (~PK 853-PK 1500), onde predomina a ondulação proveniente de SE em baixa-mar.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 22 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

A seguinte figura mostra, para a conduta de rejeição de salmoura, o requisito máximo de lastro para preia-mar e baixa-mar, assim como o valor máximo entre ambos os níveis de maré.

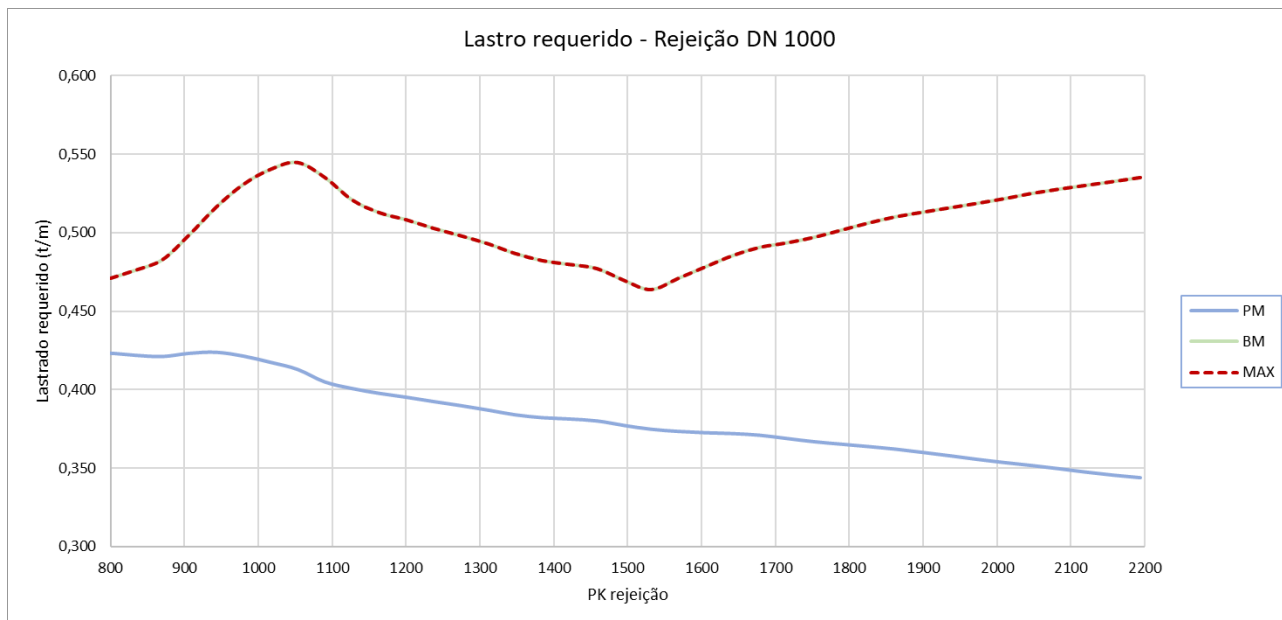


Ilustração 15. Máximo requisito de lastro para conduta de rejeição DN 1000.

Para a conduta de rejeição, o requisito máximo de lastro varia ao longo da condução entre 0,46 t/m e 0,55 t/m.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 23 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

7. DESENHO DAS PEÇAS E DISTRIBUIÇÃO AO LONGO DAS CONDUTAS

Uma vez calculada a necessidade mínima de lastro em cada ponto da conduta, é projectada a geometria dos blocos de lastro e a sua distribuição ao longo da conduta. A conduta será ancorada com todos os lastros colocados.

Os lastros serão formados por duas peças, unidas por parafusos de aço, que abraçarão completamente a conduta. A peça superior terá uma forma aproximadamente semicircular, enquanto a peça inferior terá uma forma retangular. Deste modo, a secção completa do lastro terá a forma de um D horizontal.

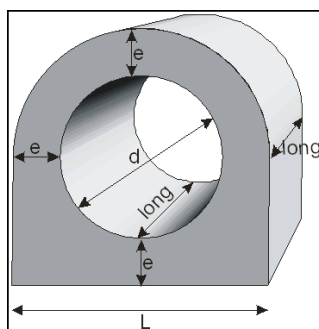


Ilustração 16. Desenho-esquema dos blocos de lastro

A Ilustração 16 expõe um desenho do bloco do lastro e na Tabela 4 são amostradas as dimensões da peça a dispor para cada conduta. Os blocos das condutas de captação deverão contar com um orifício de 190 mm de diâmetro para permitir a passagem da camisa (PEAD DN180) que conterá as duas condutas de hipoclorito, que seguirão juntamente com cada captação.

Conduta	Ud	Captação DN1200	Captação DN1000	Rejeição DN1000
Diâmetro interior (d)	m	1,22	1,02	1,02
Espessura (e)	m	0,30	0,30	0,30
Lado base (L)	m	1,82	1,62	1,62
Cumprimento (long)	m	1	0,80	0,80
Volume	m ³	1,74	1,23	1,25
Peso da peça no ar	t	4,17	2,95	2,99
Peso sumergido da peça	t	2,40	1,70	1,72

Tabela 4. Dimensões dos blocos de lastro

O contacto entre o lastro e a condução deve ser feito com tiras de elastómero ou similares. A imagem seguinte mostra a vista em alçado dos blocos de lastro para as condutas.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	24 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

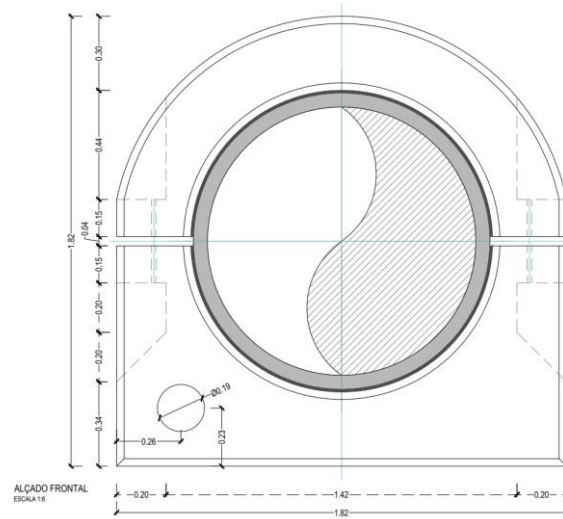


Ilustração 17. Vista de elevação dos blocos de lastro (Captação DN1200)

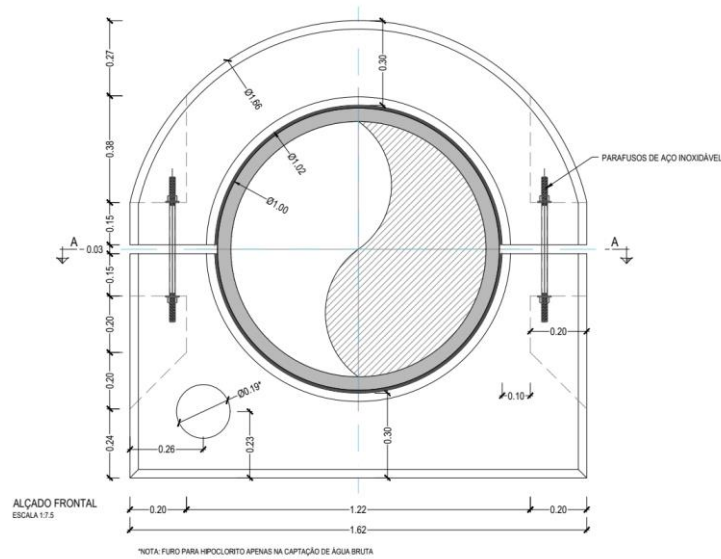


Ilustração 18. Vista de elevação dos blocos de lastro (Captação DN1000)

Cliente		Empreiteiro EPC			
					
Projeto nº.	Projeto		Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve		29/04/2025	02.0	25 de 39
Código AdA			Código ACE		
AL-ACE-0000-MW-CAC-00004			AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

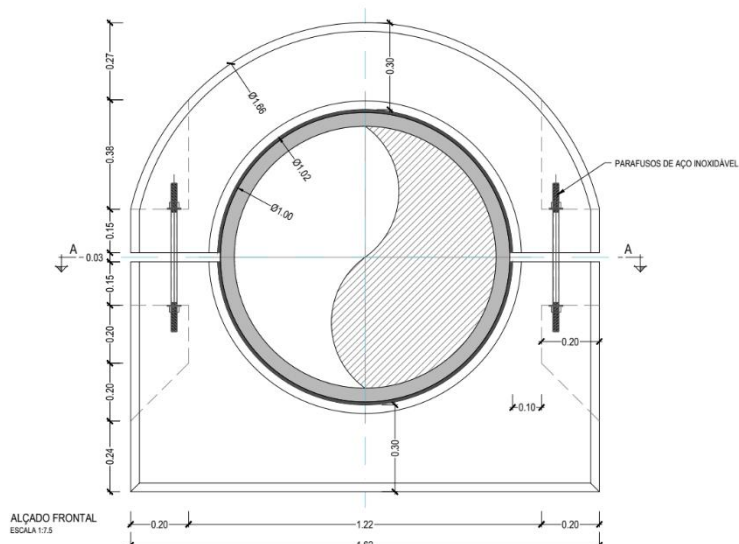


Ilustração 19. Vista de elevação dos blocos de lastro (Rejeição DN1000)

Uma vez definidos os blocos, define-se a separação entre os mesmos, de forma que o lastro aplicado seja maior que o lastro requerido obtido na seção anterior. Dado que a variação do lastro requerido ao longo da condução não é significativa, considerará-se a mesma separação em toda a extensão da condução.

A seguinte tabela mostra a separação **mínima para os requerimentos do entorno** entre blocos de cada condução, assim como o lastro aplicado, em ar e submerso. **A percentagem de lastro é determinada pelo quociente entre a massa de lastro submerso e o empuxo vertical da tubagem em vazio.**

Tabela 5. Distribuição dos blocos na condutas.

Condução	Separação (m)	Nº de blocos	Lastragem aplicado (t/m)			
			Em ar	Submerso	Empuxo vertical de tubagem em vazio	Percentagem de lastro
Captação DN1200	6	246	0,70	0,40	1,00	40%
Captação DN1000	6	246	0,48	0,27	0,69	40%
Rejeição DN1000	5	270	0,58	0,34	0,69	48%

Verifica-se, assim, o cumprimento da percentagem de lastro de 40% definida no Caderno de Encargos.

As seguintes figuras mostram, para as três condutas, o lastro requerido (linha vermelha) e o lastro aplicado (linha azul) de acordo com a distribuição de blocos definida, verificando-se que o lastro aplicado é maior que o requerido ao longo de todo o eixo.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 26 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

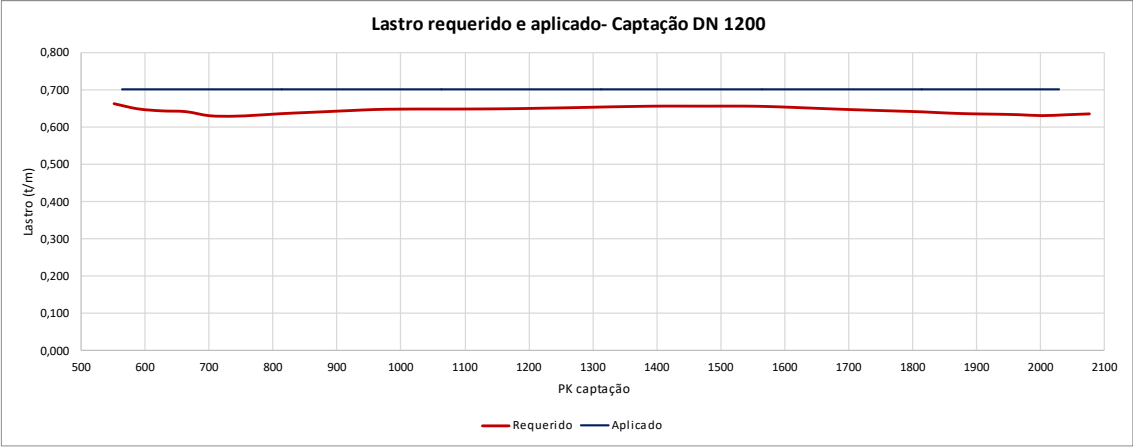


Ilustração 20. Evolução do requisito de lastro e lastro aplicado (Captação DN1200).

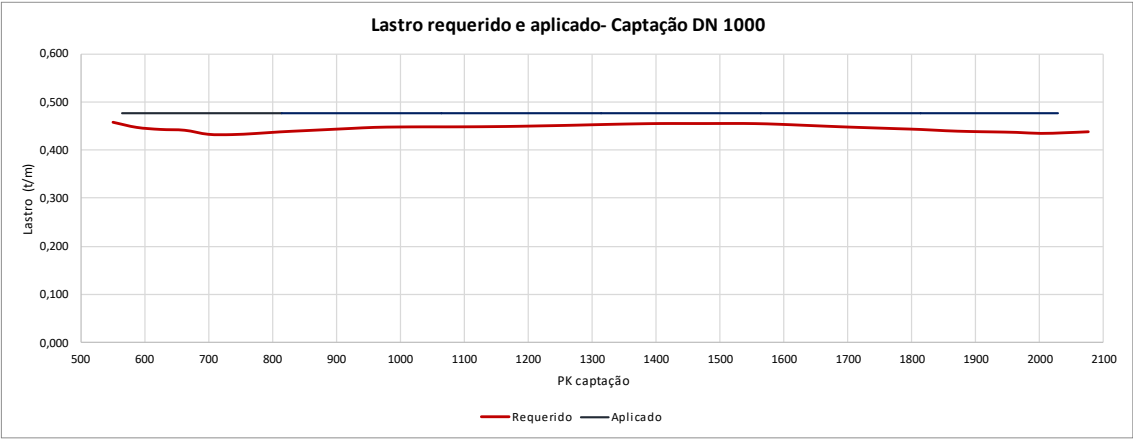


Ilustração 21. Evolução do requisito de lastro e lastro aplicado (Captação DN1000).

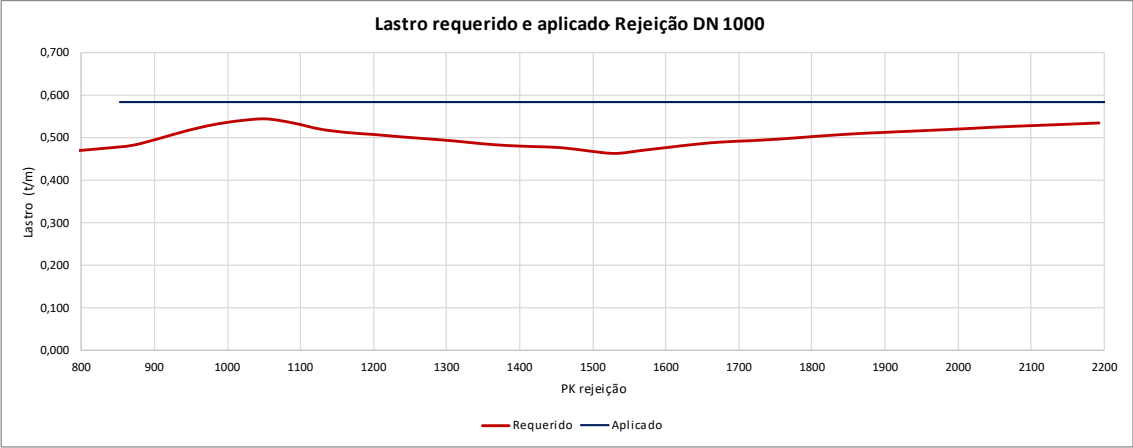


Ilustração 22. Evolução do requisito de lastro e lastro aplicado (Rejeição DN1000).

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	27 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

8. CÁLCULO ESTRUTURAL DOS BLOCOS DE LASTRO

Foram testados dois cenários para o cálculo do reforço do lastro:

- Caso de carga 1: lastro em situação operacional, apoiado na base, sem peso de terra.
- Caso de carga 2: lastro levantado.

Para este efeito, a secção superior de cada lastro foi modelada utilizando o software SAP2000. Estes modelos são pormenorizados a seguir:

8.1. Materiais

Os materiais considerados na conceção dos lastros são descritos a seguir:

- Betão armado: HA-35/F/20/XS2+XA2 ($f_{ck} = 35\text{MPa}$)
- Aço de reforço: B-500B ($f_{yk} = 500\text{MPa}$)
- **Recobrimento nominal: 60mm**
- Parafusos de ligação: Aço inoxidável A4-80 (316L)

8.2. Modelo estrutural Lastre Superior

- Geometria:
 - Caso de carga 1: a secção superior do lastro é modelada, com um apoio contínuo ao longo da secção inferior.

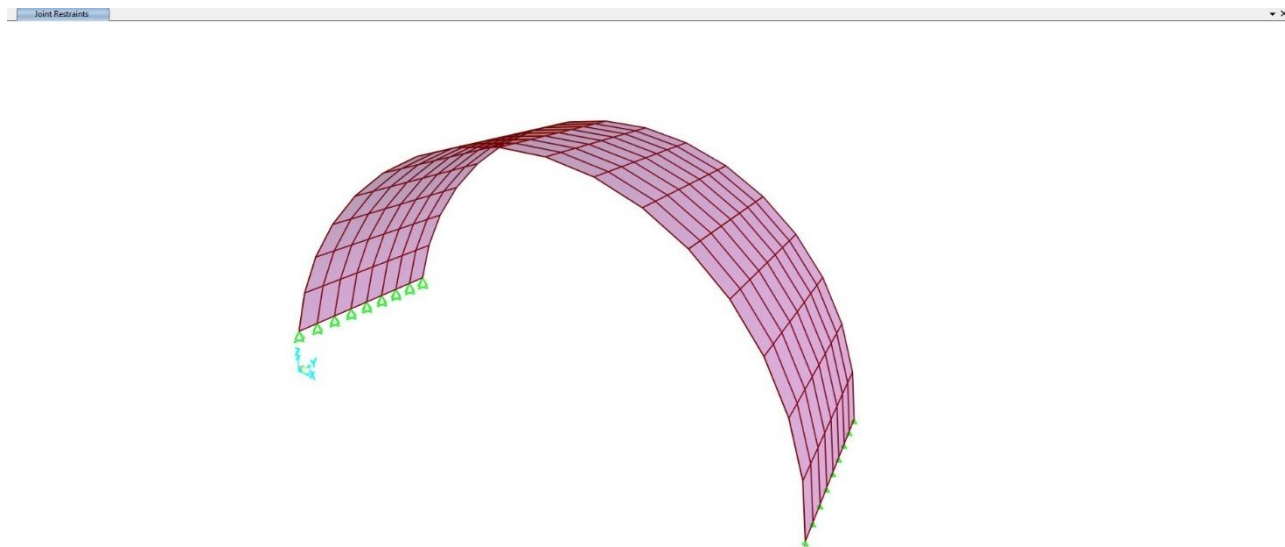


Ilustração 23.- Modelo SAP2000 Caso de carga 1

Este modelo não rege os resultados, uma vez que os esforços são menores do que na situação de elevação.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	28 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

- Caso de carga 2: a secção superior do lastro é modelada, fixada nos pontos de elevação.

Analysis Model - 3-D View

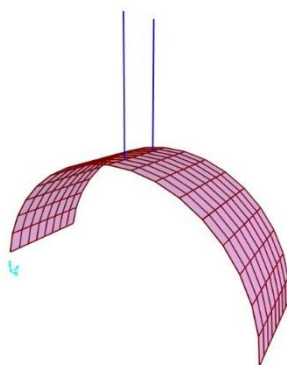


Ilustração 24.- Elevação do lastro L=0,8 m

Analysis Model - 3-D View

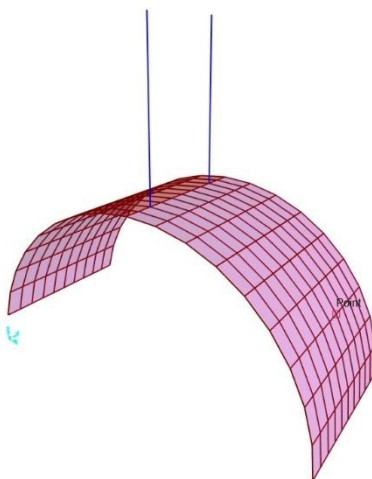


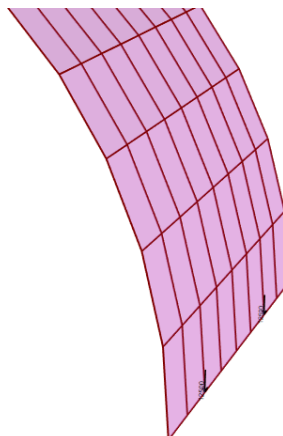
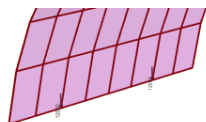
Ilustração 25.- Elevação do lastro L=1 m

- Cargas
 - Caso de carga 1: peso próprio do lastro.

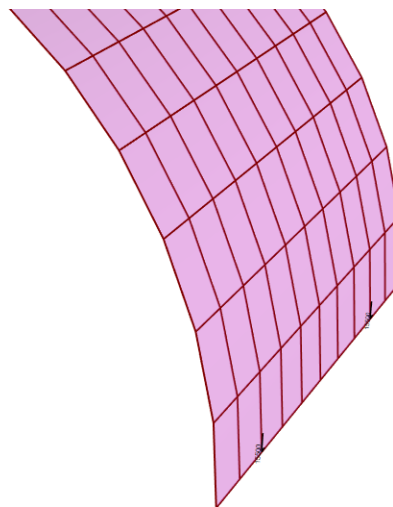
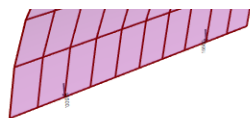
Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 29 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

- Caso de carga 2: as cargas aplicadas neste caso são o peso próprio do lastro e 4 cargas pontuais aplicadas na posição dos parafusos de ligação e que representam o peso da secção inferior do lastro. O valor destas cargas pontuais é:

- Lastro (L=0.8 m): F= 6,25 kN



- Lastro (L=1 m): F= 7,75 kN



As forças de elevação determinam a verificação do reforço estrutural do lastro. Foram obtidos os seguintes esforços do modelo SAP2000:

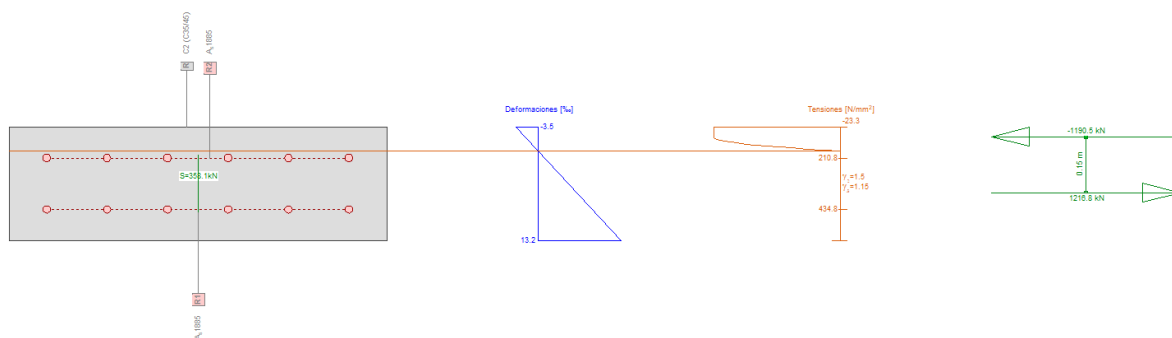
Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 30 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

F11 (kN/m)	F22 (kN/m)	V13 (kN/m)	V23 (kN/m)	M11 (kNm/m)	M22 (kNm/m)	M12 (kNm/m)
176,95	79,22	6,44	9,75	-0,02	-1,25	0,18
-27,52	-26,75	4,58	1,22	0,40	-0,20	0,20
176,95	79,22	0,18	6,44	-0,02	-1,25	0,18
-27,08	-39,44	-0,14	3,20	0,00	-0,01	-0,14
5,92	0,30	16,50	0,78	3,44	0,66	0,13
5,59	-1,33	-16,50	0,95	1,78	0,37	-0,13
-12,90	31,45	4,51	9,85	0,02	0,07	0,26
174,91	69,01	6,45	-9,85	-0,02	-1,25	-0,17
5,68	-1,03	-16,33	0,14	3,47	0,69	-0,01
4,41	0,01	-1,04	-1,26	-3,62	0,00	-0,03
5,68	-1,03	-16,33	0,14	3,47	0,69	-0,01
176,95	79,22	6,44	9,75	-0,02	-1,25	0,18
2,42	-0,39	-0,29	-0,29	-0,82	0,00	0,35
2,42	-0,39	-0,29	-0,29	-0,82	0,00	-0,35

Tabela 6.- Resultados SAP2000

Com os resultados, a armadura necessária é verificada utilizando o software FAGUS da seguinte forma:

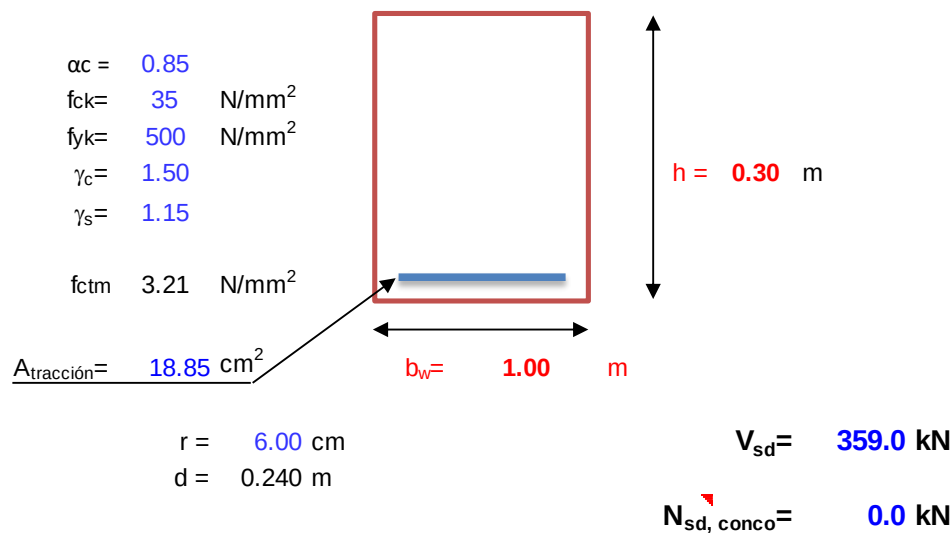
Eficiencia $N_x=22,8; M_y=152,3; V_z=-358,1$; $eff(M,N)=0,86$, $eff(V,T)=1,48$ no admisible



Temos uma utilização de $0,86 < 1$, pelo que a configuração da montagem está correta. Mas é necessário um reforço de cisalhamento, cuja área necessária calculamos abaixo:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 31 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

1. PROPIEDADES DE LA SECCIÓN



$$V_{u2} = \text{MÁX.} \begin{cases} 166.26 \text{ kN} \\ 187.82 \text{ kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 187.82 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

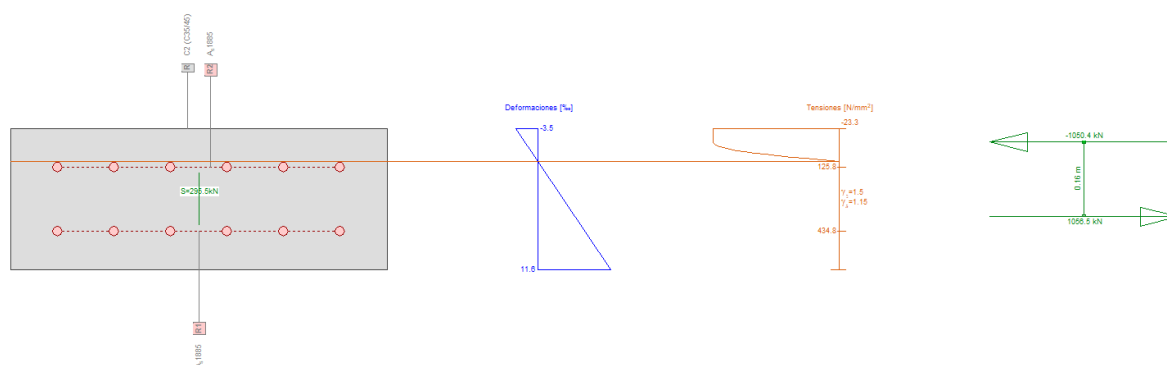
$$V_{u2} < V_{sd}$$

ARMADURA DE CORTANTE NECESARIA

$$A_{\alpha 90d} = 41.55 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Instrucción: EC-2

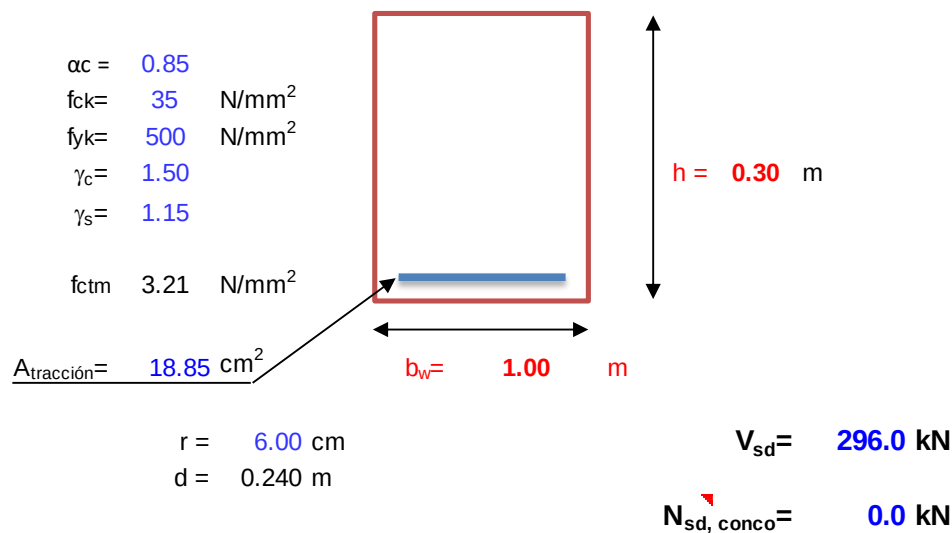
Eficiencia $N_x=5.3; M_y=143.9; V_z=-295.5$; $\text{eff}(M/N)=0.86$; $\text{eff}(V/T)=1.22$ no admisible



Temos uma utilização de $0,58 < 1$, pelo que a configuração da montagem está correta. Mas é necessário um reforço de cisalhamento, cuja área necessária calculamos abaixo:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 32 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

1. PROPIEDADES DE LA SECCIÓN



$$V_{u2} = \text{MÁX.} \begin{cases} 166.26 \text{ kN} \\ 187.82 \text{ kN} \end{cases} \longrightarrow V_{u2} = 187.82 \text{ kN} \quad \text{art. 6.2.}$$

$$V_{u2} < V_{sd}$$

ARMADURA DE CORTANTE NECESARIA

$$A_{\alpha 90d} = 34.26 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Instrucción: EC-2

8.3. Modelo estrutural Lastre Inferior

- Geometria:

Este modelo não rege os resultados, uma vez que os esforços são menores do que na situação de elevação.

- Caso de carga 1: a secção superior do lastro é modelada, fixada nos pontos de elevação.

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 33 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

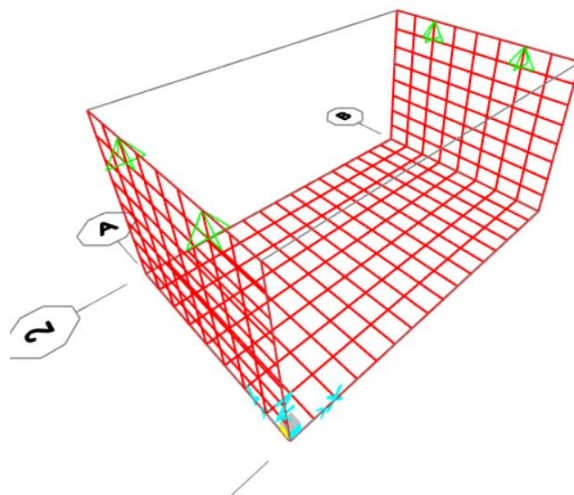


Ilustração 26.- Elevação do lastro

- Cargas
 - Caso de carga 1: peso próprio do lastro para o caso de elevação.

As forças de elevação determinam a verificação do reforço estrutural do lastro. Foram obtidos os seguintes esforços do modelo SAP2000:

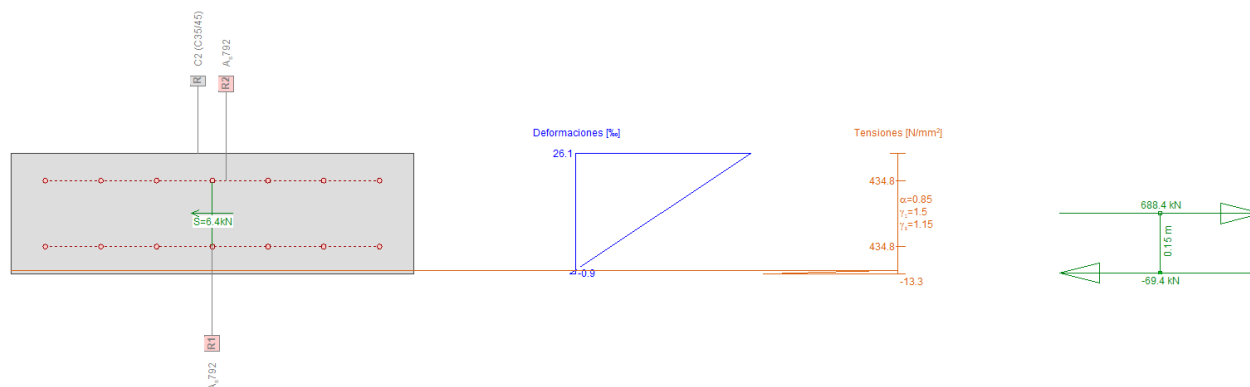
F11 (kN/m)	F22 (kN/m)	V13 (kN/m)	V23 (kN/m)	M11 (kNm/m)	M22 (kNm/m)	M12 (kNm/m)
151.85	381.09	-35.36	-6.13	-3.20	-0.23	-0.22
-81.66	19.10	12.56	1.75	-3.31	0.64	-0.99
151.85	381.09	-0.22	-35.36	-3.20	-0.23	-0.22
-20.32	-53.81	0.07	-17.69	0.52	107.00	0.07
2.55	63.10	364.16	-84.55	3.89	116.25	-1.02
-5.52	22.77	-364.16	-358.05	37.32	152.26	2.26
-1.57	66.17	39.66	198.80	-5.84	-90.44	0.98
-5.52	22.77	364.16	-358.05	37.32	152.26	-2.26
-5.52	22.77	364.16	-358.05	37.32	152.26	-2.26
-7.87	11.02	-217.42	101.25	-29.85	-110.32	-3.40
-5.52	22.77	364.16	-358.05	37.32	152.26	-2.26
-6.96	65.09	-60.66	173.62	-5.67	-124.79	-0.90
-17.19	-26.80	-78.87	-78.87	8.79	100.88	7.59
-17.19	-26.80	-78.87	-78.87	8.79	100.88	-7.59

Tabela 7.- Resultados SAP2000

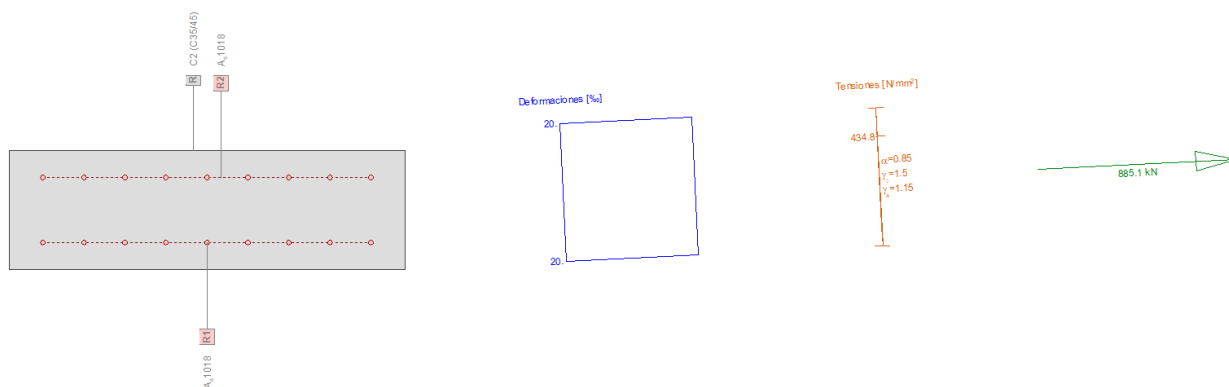
Com os resultados, a armadura necessária é verificada utilizando o software FAGUS da seguinte forma:

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto nº.	Projeto Sistema de dessalinização na região do Algarve	Data 29/04/2025	Rev. 02.0	Pág. 34 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Temos uma utilização de $0,15 < 1$, pelo que a configuração da montagem está correta. Mas é necessário um reforço de cisalhamento, cuja área necessária calculamos abaixo:



Temos uma utilização de $0,20 < 1$, pelo que a configuração da montagem está correta. Mas é necessário um reforço de cisalhamento, cuja área necessária calculamos abaixo:



8.4. Cálculo dos parafusos de lastro

Para seleccionar os parafusos adequados, a força exercida sobre o parafuso (F_t) a partir das acções acima referidas é comparada com a resistência do parafuso, que depende da resistência à tração e do tamanho do parafuso.

$$F_{t,rd} = \frac{0,9 \cdot f_u \cdot A_u}{1,25}$$

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	35 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Lastro	Nº de parafusos	Força (kN)	Tipo de parafuso	Resistência à tração (MPa)	Resistência máxima (kN)
Emissário (L=0.8m)	4	50	M24 A4-80 (SS)	800	212
Imisário (L=0.8m)	4	50	M24 A4-80 (SS)	800	212
Imisário (L=1m)	4	62	M24 A4-80 (SS)	800	212

Tabela 8.- Vista general de los tornillos de los balastos de los conductos

Recomenda-se a instalação de 4 parafusos M24 A4-80 nos blocos de lastro do emissário e 4 parafusos M24 A4-80 nos blocos de lastro do imisário.

Para assegurar a fixação correta dos sistemas de union, deve ser previsto um 2Ø16 adicional (R-03B).

8.5. Cálculo das barras de reforço dos olhais de içamento

PROJECTO: Sistema de dessalinização na região do Algarve
REFERÊNCIA: M24017
DESCRIÇÃO: LASTRE L=1 m

I.- MATERIAIS

Concreto:

Resistência do concreto $f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$

Aço de reforço:

Resistência ao escoamento $f_y = 500,00 \text{ N/mm}^2$
 Fator de material $\gamma = 1,15$
 Resistência de projeto $f_{yd} = 434,00 \text{ N/mm}^2$
 Diâmetro da barra de aço $\phi = 25,00 \text{ mm}$
 Área $A_s = 4,91 \text{ cm}^2$

II.- DEFINIÇÃO DAS ORELHAS E CARGAS DE IÇAMENTO

Configuração das orelhas:

Quantidade de orelhas $N_{Lugs} = 2,00$ Lugs
 Ganchos por orelha $N_{Hooks} = 2,00$ Hooks/lug
 Barras por gancho $N_{Bars} = 1,00$ Bars/hook

Peso próprio:

Carga $W = 44,50 \text{ kN}$
 Fator de carga $\gamma = 2,89$ kN
 Carga total de projeto $W_d = 129,00 \text{ kN}$
 Carga de projeto por orelha $W_{d, Lug} = 64,50 \text{ kN/lug}$
 Carga de projeto por barra $W_{d, Bar} = 33,00 \text{ kN/bar}$

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	36 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

Situação de operação de içamento

Tensões:

Tensão de projeto por barra	$\tau_{d, Barr} =$	117,00	N/mm ²
Resistência de projeto	$\tau_{yd} =$	250,00	N/mm ²

Fator de capacidade  0,47

Situação acidental de içamento

Tensões:

Tensão de projeto por barra	$\tau_{d, Barr} =$	228,00	N/mm ²
Quantidade de orelhas	$N_{Lugs} =$	1,00	Lugs
Resistência de projeto	$\tau_{yd} =$	250,00	N/mm ²

Fator de capacidade  0,91

Posição de ancoragem:

Posição de ancoragem		LbI	
Comprimento de ancoragem	$L_b =$	0,75	m
Comprimento da barra	$L =$	0,50	m

Capacidade de içamento

Capacidade operacional de içamento:

Reação em cada orelha	64,50	kN/lug
Distância até a face do concreto	0,19	m
Momento na base da orelha	12,26	mkN
Espaçamento entre os ramos	0,15	m
Tensão nos ramos inferiores	81,70	kN
Número de ramos tensionados	2,00	ramas
Tensão por ramo	40,85	kN
Capacidade de um ramo a 100%	213,04	kN
Capacidade real de um ramo	142,03	kN

Fator de capacidade  0,29

Capacidade acidental de içamento:

Reação em cada orelha	129,00	kN/lug
Distância até a face do concreto	0,19	m
Momento na base da orelha	24,51	mkN
Espaçamento entre os ramos	0,15	m
Tensão nos ramos inferiores	163,40	kN
Número de ramos tensionados	2,00	ramas
Tensão por ramo	81,70	kN
Capacidade de um ramo a 100%	213,04	kN
Capacidade real de um ramo	142,03	kN

Fator de capacidade  0,58

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	37 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

PROJECTO: Sistema de dessalinização na região do Algarve
REFERÊNCIA: M24017
DESCRIÇÃO: LASTRE L=0.8 m

I.- MATERIAIS

Concreto:

Resistência do concreto $f_{ck} = 35,00 \text{ N/mm}^2$

Aço de reforço:

Resistência ao escoamento $f_y = 500,00 \text{ N/mm}^2$
 Fator de material $\gamma = 1,15$
 Resistência de projeto $f_{yd} = 435,00 \text{ N/mm}^2$
 Diâmetro da barra de aço $\phi = 25,00 \text{ mm}$
 Área $A_s = 4,91 \text{ cm}^2$

II.- DEFINIÇÃO DAS ORELHAS E CARGAS DE IÇAMENTO

Configuração das orelhas:

Quantidade de orelhas $N_{Lugs} = 2,00 \text{ Lugs}$
 Ganchos por orelha $N_{Hooks} = 2,00 \text{ Hooks/lug}$
 Barras por gancho $N_{Bars} = 1,00 \text{ Bars/hook}$

Peso próprio:

Carga $W = 30,42 \text{ kN}$
 Fator de carga $\gamma = 2,89$
 Carga total de projeto $W_d = 87,00 \text{ kN}$
 Carga de projeto por orelha $W_{d, Lug} = 43,50 \text{ kN/lug}$
 Carga de projeto por barra $W_{d, Bar} = 22,00 \text{ kN/bar}$

Cliente 		Empreiteiro EPC   		
Projeto n.º	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	38 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

III.- CAPACIDADE DAS BARRAS DE REFORÇO

Situação de operação de içamento

Tensões:

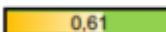
Tensão de projeto por barra	$\tau_{d, Barr} =$	78,00	N/mm ²
Resistência de projeto	$\tau_{yd} =$	251,00	N/mm ²

Fator de capacidade 

Situação accidental de içamento

Tensões:

Tensão de projeto por barra	$\tau_{d, Barr} =$	153,00	N/mm ²
Quantidade de orelhas	$N_{Lugs} =$	1,00	Lugs
Resistência de projeto	$\tau_{yd} =$	252,00	N/mm ²

Fator de capacidade 

Posição de ancoragem:

Posição de ancoragem		L_{bi}	
Comprimento de ancoragem	$L_b =$	0,75	m
Comprimento da barra	$L =$	0,50	m

Capacidade de içamento

Capacidade operacional de içamento:

Reação em cada orelha	43,50 kN/lug
Distância até a face do concreto	0,19 m
Momento na base da orelha	8,27 mkN
Espaçamento entre os ramos	0,30 m
Tensão nos ramos inferiores	27,55 kN
Número de ramos tensionados	2,00 ramas
Tensão por ramo	13,78 kN
Capacidade de um ramo a 100%	213,53 kN
Capacidade real de um ramo	142,35 kN

Capacity factor 

Capacidade accidental de içamento:

Reação em cada orelha	87,00 kN/lug
Distância até a face do concreto	0,19 m
Momento na base da orelha	16,53 mkN
Espaçamento entre os ramos	0,30 m
Tensão nos ramos inferiores	55,10 kN
Número de ramos tensionados	2,00 ramas
Tensão por ramo	27,55 kN
Capacidade de um ramo a 100%	213,53 kN
Capacidade real de um ramo	142,35 kN

Capacity factor 

O esquema do reforço dos blocos de lastro pode ser consultado no desenho AL-PRO-0000-MW-DWG-00009. Sistema de captação e rejeição de água do mar. Definição e pormenores dos lastros.

Cliente 		Empreiteiro EPC 		
Projeto nº.	Projeto	Data	Rev.	Pág.
	Sistema de dessalinização na região do Algarve	29/04/2025	02.0	39 de 39
Código AdA AL-ACE-0000-MW-CAC-00004		Código ACE AL-PRO-0000-MW-CAC-00004		

8.6. Resumo

Lastro	Reforço longitudinal	Reforço transversal	Reforço de cisalhamento
Lastro (L=1m)	Ø12/0.10 m	Lastro superior 6Ø20 Lastro inferior 7Ø12	Ø12/100
Lastro (L=0.8m)	Ø12/0.10 m	Lastro superior 6Ø20 Lastro inferior 7Ø12	Ø12/100

Tabela 9.- Resumo do reforço do lastro

Para assegurar a fixação correta dos sistemas de union, deve ser previsto 2Ø16 adicional (R-03B).