



**RELATÓRIO TÉCNICO: SERVIÇOS DE
ENGENHARIA PARA IMPLANTAÇÃO
DO MASTRO BANDEIRA NACIONAL**

FEVEREIRO DE 2021

Referências Cadastrais

Cliente	Prefeitura Municipal de Pouso Alegre
Localização	Pouso Alegre, Minas Gerais
Título	Mastro da bandeira
Contato	Rinaldo Lima Oliveira
E-mail	rinaldololiveira@gmail.com
Líder do Projeto:	William Baradel Lari
Coordenador:	Aloísio Caetano Ferreira
Projeto/centro de custo:	ATA 91/2020
Data do documento:	03/02/2021

Elaborador/Autor	William Baradel Lari	Engenheiro Civil
Verificador/aprovador	Flávia Cristina Barbosa	Coordenador do projeto

Isenção de Responsabilidade:

Este documento é confidencial, destinando-se ao uso exclusivo do cliente, não podendo ser reproduzido por qualquer meio (impresso, eletrônico e afins) ainda que em parte, sem a prévia autorização escrita do cliente.

Este documento foi preparado pela Dac Engenharia com observância das normas técnicas de Pouso Alegre e em estrita obediência aos termos do pedido e contrato firmado com o cliente. Em razão disto, a Dac Engenharia isenta-se de qualquer responsabilidade civil e criminal perante o cliente ou terceiros pela utilização deste documento, ainda que parcialmente, fora do escopo para o qual foi preparado.

O

Equipe Técnica

Responsável Técnico

Flávia Cristina Barbosa Engenheira Civil	
Nº CREA: MG 187.842/D	Nº ART:
Rodrigo Reno Gonzaga Engenheira Mecânico	
Nº CREA: SP-5061931640D	Nº ART:

Coordenação

Flávia Cristina Barbosa Engenheira Civil	
Nº CREA: MG 187.842/D	Nº ART:

Elaboração

Márcia Regina	Assistente Administrativa
Rafael Wasem	Auxiliar de Topografia
Antônio Galvão Jr	Design de Interiores
Érika Prudente	Engenheira Ambiental
Thales Tito	Engenheiro Ambiental
Abraão Ramos	Engenheiro Civil
Camila Andrade	Engenheira Civil
Daliani Pereira	Engenheira Civil
Diego Moutinho	Engenheiro Civil
Felipe Guimarães	Engenheiro Civil

Flávia Barbosa	Engenheira Civil
Mara Lucy	Engenheira Civil
Thais Coimbra	Engenheira Civil
William Baradel	Engenheiro Civil
Giovanni Petrucci	Engenheiro Eletricista
Denis Silva	Engenheiro Hídrico
Igor Lopes	Engenheiro Hídrico
Guilherme Lacerda Lima	Engenheiro de Materiais
Geraldo Tiago Filho	Engenheiro Mecânico
German Lozano	Engenheiro Mecânico
Giulia Camerini	Estag. Biologia
Andressa Uchôas	Estag. Engenharia Civil
Bianca Baruk Rosa	Estag. Engenharia Civil
Bianca Batista	Estag. Engenharia Civil
Erica de Souza	Estag. Engenharia Civil
Gabriel Santos	Estag. Engenharia Civil
Isabela Silva	Estag. Engenharia Civil
Marcela Cabral	Estag. Engenharia Civil
Pedro Henrique Justiniano	Estag. Engenharia Civil
Thallis Eduardo Cabral	Estag. Engenharia Civil
Tulio Lemos	Estag. Engenharia Civil
Henrique Biasi	Estag. Engenharia Hídrica
Nathália Souza	Estag. Engenharia Hídrica
Júlio Del Ducca	Estag. Engenharia Mecânica
Pedro Costa	Estag. Engenharia Mecânica

Índice

1.	INTRODUÇÃO	6
1.1.	DADOS DE PROJETO	6
1.2.	LOCAÇÃO	7
2.	INTRODUÇÃO AO MODELO DE CÁLCULO	8
2.	MEMORIAL DE CÁLCULO	10
2.1.	Coeficiente de Arrasto para o Mastro	10
2.2.	Coeficiente de Arrasto para a Bandeira	11
3.	ESTUDO DE CASO	14
3.1.	Dados Iniciais	14
3.2.	Esquema Representativo do Mastro	14
3.3.	Dimensões da Bandeira	16
3.4.	Distribuição da Frequência das Intensidades de Velocidade do Vento	17
3.5.	Definição do Vento de Rajada	18
3.6.	Carregamento do Mastro	18
4.	PROJETO DO MASTRO	29
4.1.	TRECHO A-B – SEÇÃO TC 52 X 9,52	30
4.2.	TRECHO B-C – SEÇÃO TC 44 X 6,35	31
4.3.	TRECHO C-D – SEÇÃO TC 36 X 4,75	32
4.4.	TRECHO D-E – SEÇÃO TC 28 X 4,75	33
4.5.	TRECHO E-F – SEÇÃO TC 20 X 4,75	34
5.	PROJETO DA FUNDAÇÃO	35
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	36
	ANEXOS	37

Lista de Figuras

Figura 1:	Imagem ilustrativa do posicionamento da Bandeira. Fonte: Autor	6
Figura 2:	Locação do mastro. Fonte: Autor	7
Figura 1.3 –	Carregamento de forças de arrasto em um mastro com bandeira	8
Figura 2.1 –	Coeficiente de arraste em um cilindro elíptico imerso em um escoamento	10
Figura 2.2 –	Coeficiente de arraste de uma bandeira em função da razão de aspecto	13
Figura 2.3 –	Coeficiente de arraste de uma bandeira em função do peso	13
Figura 3.1 –	Desenho representativo do mastro	15
Figura 3.2 –	Relação entre a inércia de um tubo de n lados e a inércia de um tubo quadrado ..	15

Figura 3.3 – Distribuição de Weibull para os ventos incidentes em Pouso Alegre a 30 metros de altura..	17
Figura 3.4 – Rugosidade e expoente de potência para terrenos típicos.	18
Figura 3.5 – Perfil de velocidades do vento incidindo sobre o mastro.	19
Figura 3.6 – Carga Distribuída ao longo do mastro devido ao vento. ...	20
Figura 3.7 – Carregamento admitido para o mastro devido ao vento. ..	20
Figura 3.8 – Carregamentos retangulares devido ao vento.....	21
Figura 3.9 – Carregamentos triangulares devido ao vento.....	22
Figura 3.10 – Carregamentos oriundos da ação do vento sobre a bandeira.	23
Figura 11: Trechos de Análise. Fonte Autor.....	29

1. INTRODUÇÃO

1.1. DADOS DE PROJETO

A presente documentação visa apresentar o projeto de instalação de um mastro, em estrutura metálica com seção variável e fundação em concreto armado a ser implementado no município de Pouso Alegre, Minas Gerais.

A estrutura será instalada no canteiro da central da rotatória, conforme representado na imagem ilustrativa abaixo.



Figura 1: Imagem ilustrativa do posicionamento da Bandeira.

Fonte: Autor.

1.2. LOCAÇÃO

A bandeira deverá ser implantada no canteiro circular da rotatória à distância de dois metros do limite do canteiro, conforme projeto específico, prancha “DAC-PMPA-MAS-LOC-R00”.

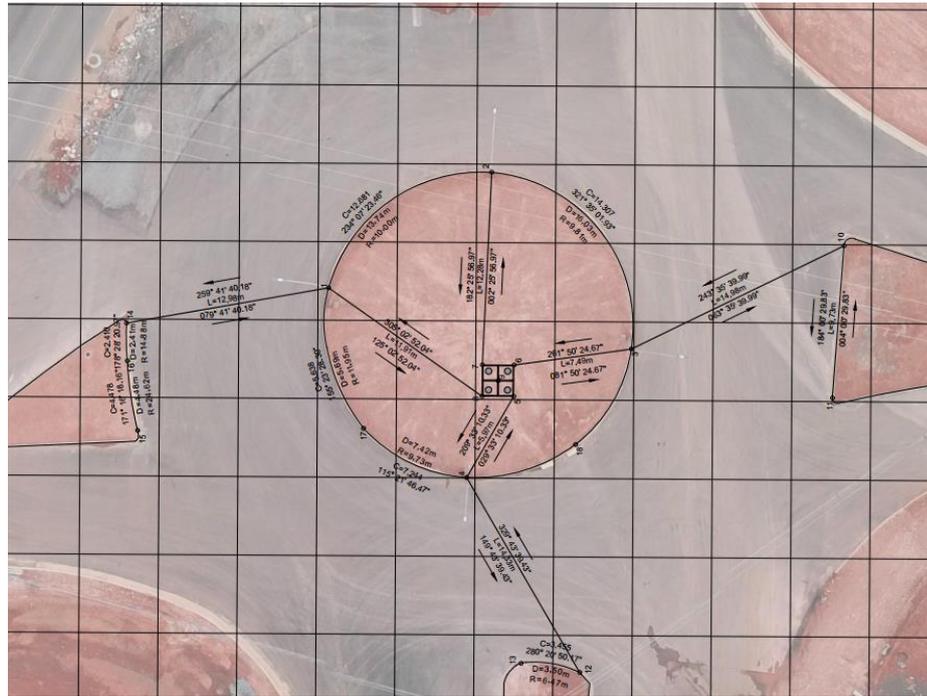


Figura 2: Locação do mastro.

Fonte: Autor

2. INTRODUÇÃO AO MODELO DE CÁLCULO

Um mastro, com bandeira hasteada, basicamente é composto por um pilar, geralmente de seção circular, única ou escalonada, e no topo encontra-se engastada a bandeira, geralmente de formato retangular. Conforme mostrado na Figura 1.1, a ação do vento resulta na força de arraste no mastro de uma bandeira.

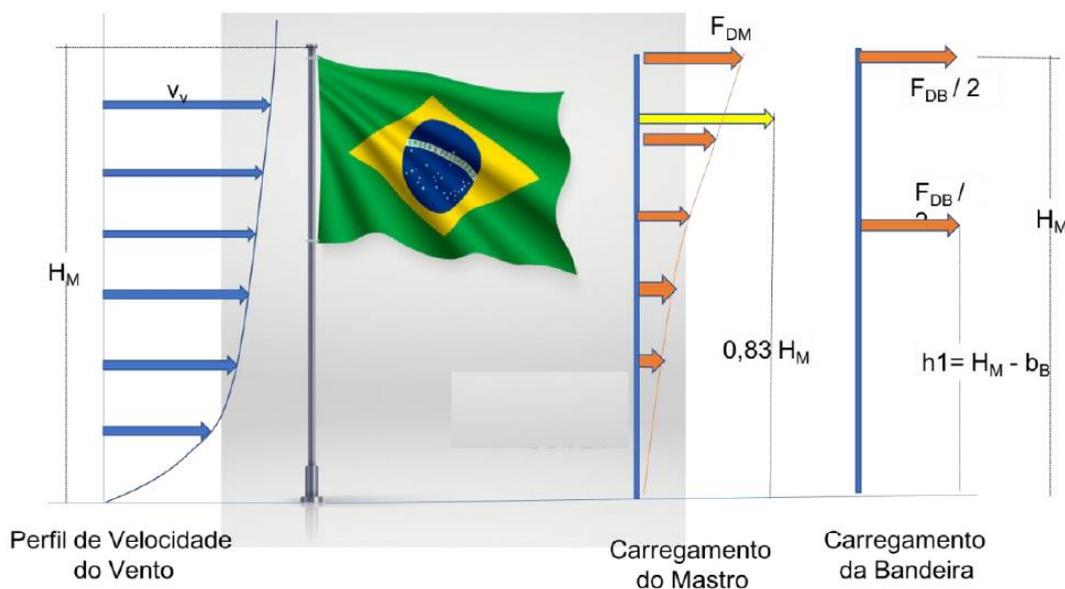


Figura 1.3 – Carregamento de forças de arraste em um mastro com bandeira.

Onde:

F_{DM} é a força de arraste no mastro;

F_{DB} é a força de arraste na bandeira;

V_v é a velocidade do vento;

H_M é altura do mastro;

b é a altura da bandeira;

c é comprimento da bandeira.

Tendo em vista que a velocidade do vento varia com a altura do mastro, faz-se necessário determinar as forças de arraste ao longo do mastro, que variará em função da variação da velocidade, bem como considerar a força de arraste devido a desfraldar da bandeira.

A força de arraste (FD), conforme White (2011), é calculada pela Equação 1:

$$FD = C_D \cdot \rho_{ar} \cdot S \cdot \frac{v^2}{2} [N] \quad (1)$$

Onde

C_D é coeficiente de arrasto;

ρ_{ar} é a massa específica do fluido, no caso, ar (kg/m^3);

S é a área projetada (m^2);

v é a velocidade do fluido, no caso, o ar (m/s).

2. MEMORIAL DE CÁLCULO

Em mecânica dos fluidos o coeficiente de arrasto é um número adimensional que é usado para quantificar a força de arrasto ou de resistência de um corpo imerso em um escoamento de um fluido tal como o ar ou a água. Trata-se de um dado obtido experimentalmente e varia de acordo com a forma da superfície.

2.1. Coeficiente de Arrasto para o Mastro

No caso específico do mastro com bandeira, ora em estudo, o conjunto é formado por dois elementos: o mastro e a bandeira.

Como geralmente o mastro é do tipo tubular, a obtenção do coeficiente de arrasto é mais fácil, uma vez que basta procurar o C_d de um corpo cilíndrico, que normalmente é disponibilizado nos livros de mecânica dos fluidos. Nesse caso, onde o escoamento é turbulento, o C_d a ser adotado para o mastro será $C_d = 0,30$.

Cilindro elíptico:		Laminar	Turbulento
1:1 →		1,2	0,3
2:1 →		0,6	0,2
4:1 →		0,35	0,15
8:1 →		0,25	0,1

Figura 2.1 – Coeficiente de arraste em um cilindro elíptico imerso em um escoamento.

Fonte: White (2011).

2.2. Coeficiente de Arrasto para a Bandeira

Já a obtenção do coeficiente de arrasto para a bandeira desfraldada, que constituirá no maior carregamento do conjunto, é um pouco mais complexo de se obter, visto de se tratar de uma assunto pouco comentado em estudos de mecânica dos fluidos.

Em um grupo de discussão, Polecat, sugere a seguinte fórmula desenvolvida pela Marinha dos EUA e que aparece no American Civil Engineer's Handbook (edição Merriman & Wigginn). Trata-se de uma fórmula estritamente empírica que foi obtida por meio de alguns testes em túnel de vento no Naval Yard em Washington, DC:

Força exercida pela bandeira:

$$F = 0,0003.A.v^{1,9} \quad (2)$$

Onde:

F = força de arraste [libras];

A = área da bandeira [pés²];

v = velocidade do vento [mph].

Outra fórmula desenvolvida por Sighard Hoerner em um livro chamado Fluid Dynamic Drag é esta:

$$F = 0,000218.A.v^2 \quad (3)$$

Onde:

F = força de arraste [libras];

A = área da bandeira [pés²];

v = velocidade do vento [mph].

A Equação 3 foi testada para sinalizadores com uma relação L/W de 1,5.

O autor comenta que, em comparação com algumas outras fórmulas disponíveis, estas parecem fornecer resultados comparáveis para bandeiras menores (por exemplo: 4x6), mas se tornam muito conservadoras para bandeiras maiores ou com alta velocidade do vento. O autor também comenta que é necessário adicionar o vento no próprio mastro.

Como uma última recodação, o autor alerta que se a bandeira for montada em um prédio muito alto (ou um mastro com mais de 30 pés: 9,144 m), deve-se adicionar um fator de altura e rajada à equação. Para tanto, ele recomenda consultar a norma ASCE 7-95 para mais informações.

Oldrunner, um outro membro do grupo, menciona o Guia de Especificações para Projeto de mastros de metal, ANSI / NAAMM FP 1001-97 que fornece valores do coeficiente de arrasto para bandeiras de nylon e algodão e para bandeiras de poliéster, conforme segue:

Para nylon e algodão:

$$W_f = 0,0010 \cdot v^2 \cdot A_f^{0,5} \cdot C_h \quad (4)$$

Para poliéster:

$$W_f = 0,0014 \cdot v^2 \cdot A_f^{0,5} \cdot C_h \quad (5)$$

Onde:

v = velocidade do vento projetada [mph];

A_f = área da bandeira [pés²];

$$C_h = 2,01 \cdot \left(\frac{z}{900}\right)^{\frac{2}{9,5}}$$

RHK (Estrutural) comenta para se verificar a minuta do Código Eólico Australiano (1170 Parte 2), porém comenta que Hoerner é uma referência muito boa para arrasto de formas estranhas. Também comenta que a melhor aposta com bandeiras e estandartes é especificar o tamanho da adriça a ser usada na bandeira. Quando o arrasto excede a capacidade da corda, ela se quebra e a bandeira se espalha e, com sorte, muito antes de a estrutura cair. Parece-me que o público em geral perdoa completamente quando as estruturas colapsam.

De forma que, ao longo da discussão sobre o assunto, comentou-se muito sobre a publicação "Fluid Dynamic Drag" de Hoerner 1965 pp 3-25 que cita pesquisas feitas por Faithorne "Drag of Flags", ARC RM 1345 (1931).

O trabalho de Hoerner (1965), também citado no artigo de Mkrtychyan e Johari (2011), que apresenta um gráfico que possibilita determinar o C_D da bandeira em função da sua razão de aspecto: Comprimento/altura, c/b , conforme mostrado na Figura 2.2, que será utilizado como referência no estudo de caso, apresentado a seguir.

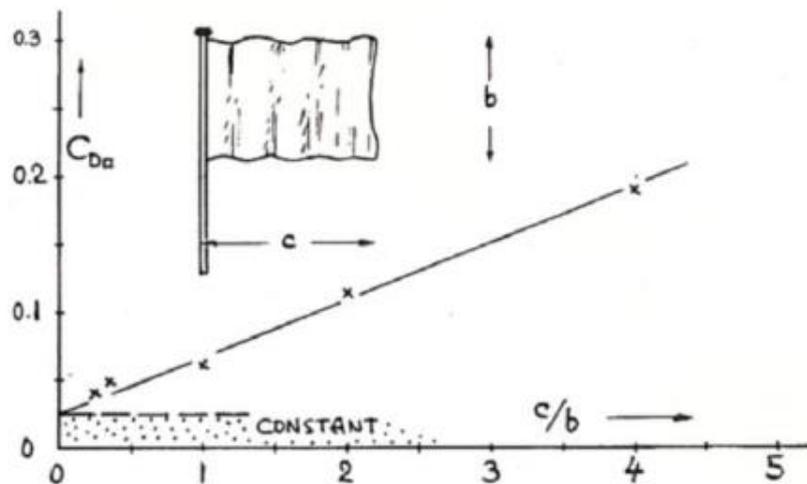


Figura 2.2 – Coeficiente de arraste de uma bandeira em função da razão de aspecto.

Fonte: Mkrtchyan e Johari (2011).

Além desse gráfico há um segundo gráfico que também fornece o coeficiente de arraste em função do peso do material, testado em uma proporção de aspecto = 1,0 e velocidade do vento de 30 pés/seg, como pode ser visto na Figura 2.3.

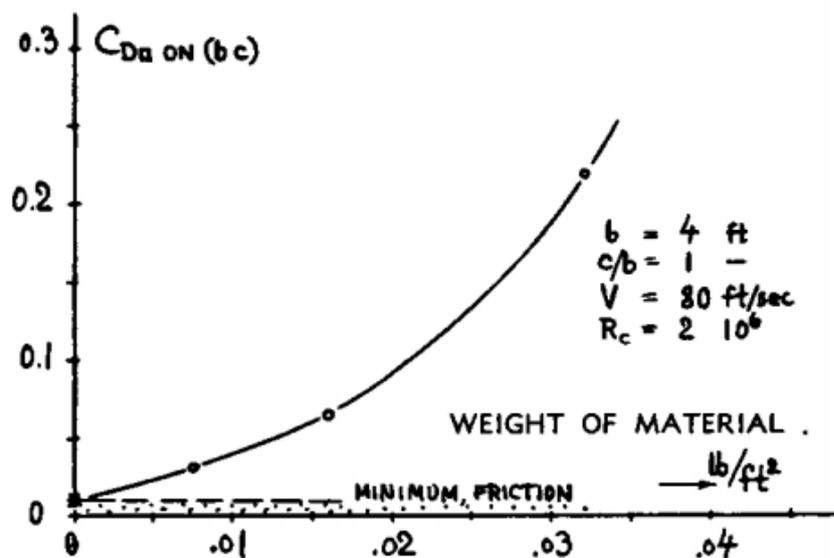


Figura 2.3 – Coeficiente de arraste de uma bandeira em função do peso.

Fonte: Hoerner (1965).

3. ESTUDO DE CASO

3.1. Dados Iniciais

Local: Município de Pouso Alegre;

Coordenadas: 22°14'53" S; 45°56'31" W;

Altura do Mastro = 30 [m];

Diâmetro do mastro = 0,5 [m];

Dimensões da bandeira: 6,0 x 8,6 [m];

Velocidade média do vento a 50 [m]: 4,14 [m/s];

$c = 4,67$;

$k = 2,45$;

Densidade de potência = 73 [W/m²].

3.2. Esquema Representativo do Mastro

A Figura 3.1 apresenta um esboço com as dimensões básicas do mastro usadas para obter os esforços atuantes no mastro e na fundação. Por motivos de fabricação e montagem, prevê-se uma segmentação do mastro em 5 seções de 6 metro. O mastro é provido de uma tampa de fechamento sobre o último tubo, um sistema com roldanas e suporte para se fazer o hasteamento.

O perfil adotado para o projeto do mastro é de seção dodecagonal (12 lados). Castilho (2018) aponta que a relação entre a inércia de um perfil em polígono de n lados pela inércia de um perfil quadrado aumenta com o número de lados, como pode ser visto na Figura 3.2. Assim, em muitas aplicações são utilizados perfis com mais lados a fim de aumentar a inércia da seção e, conseqüentemente, melhorar a resistência à flexão.

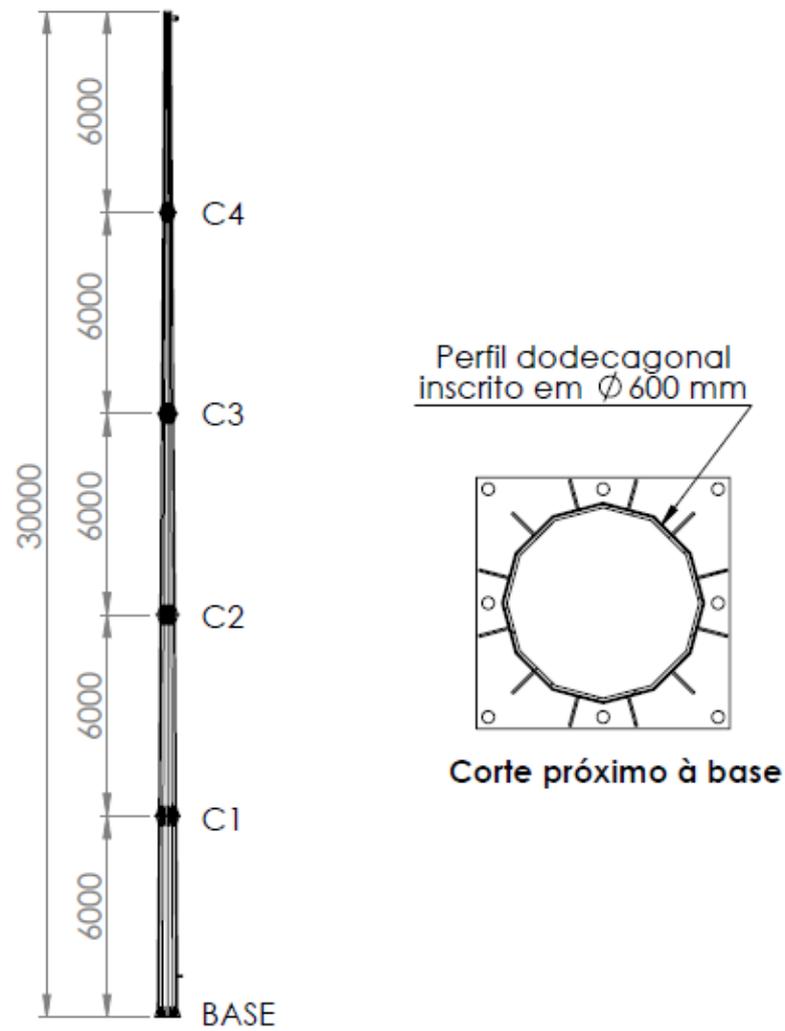


Figura 3.1 – Desenho representativo do mastro.

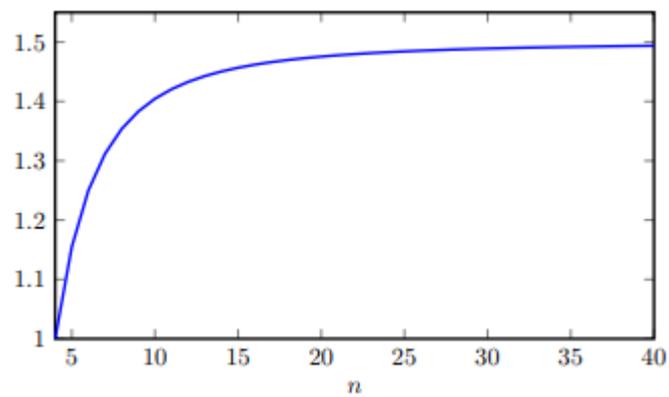


Figura 3.2 – Relação entre a inércia de um tubo de n lados e a inércia de um tubo quadrado.
 Fonte: Castilho (2018).

É comum na montagem dos mastros se usar seções tubulares redondas e poligonais, sendo os de seções redondas mais usados em alturas de mastro menores. Ressalta-se que podem ser empregados outros modelos de perfis no projeto, contando que se mantenha os diâmetros adotados em cada seção do mastro e que se atenda aos critérios de resistência exigidos na aplicação.

3.3. Dimensões da Bandeira

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (2019) estabelece requisitos quanto às dimensões da bandeira nacional e a relação entre essas dimensões e a altura do mastro. Conforme a norma, a largura da bandeira deve ser em um tamanho entre 1/7 e 1/5 da altura do mastro. Além disso, há uma relação entre a largura e o comprimento da bandeira, explicitado na Equação 6.

$$b = c \cdot 0,7 \quad (6)$$

Onde:

b é a largura da bandeira

c é o comprimento da bandeira

Logo, para o mastro de 30 metros em estudo, a largura da bandeira deve estar entre 4,29 e 6,00 m, enquanto que o comprimento deve estar entre 6,12 e 8,60 m.

A norma também tipifica as bandeiras por uma unidade de medida denominada “pano”, sendo esta uma bandeira de dimensões 0,45 m x 0,64 m. As bandeiras são fabricadas em tamanhos que são múltiplos dessa unidade de medida. Dessa forma, é conveniente escolher uma bandeira que esteja dentro desse padrão.

As bandeiras que atendem aos requisitos acima estão dispostas na Tabela 3.1. Contudo, por meio de consulta a fabricantes de bandeira, para o tamanho de 30 m do mastro, é aconselhável de 10 e 11 panos, sendo mais conveniente a de 10 panos por questão de durabilidade da bandeira.

Tabela 3-1 – Tipificação das bandeiras.

TAMANHO	LARGURA	COMPRIMENTO
10 PANOS	4,50	6,40
11 PANOS	4,95	7,07
12 PANOS	5,40	7,68
13 PANOS	5,85	8,45

Foi escolhida para este projeto a bandeira de 10 panos, sendo então nas dimensões de 4,5 m x 6,40 m, respectivamente, largura e comprimento da bandeira.

3.4. Distribuição da Frequência das Intensidades de Velocidade do Vento

Pelos dados, vê-se que no local não há incidência de ventos muito intensos. Entretanto, com estes dados é possível verificar a distribuição de Weibull, que permite verificar a frequência da incidência de ventos intensos, verificação que é de interesse neste estudo. No caso de Pouso Alegre, para a altura de 30 metros, a distribuição das frequências das velocidades do vento, de acordo com a distribuição de Weibull, se dá na forma apresentada na Figura 3.2.

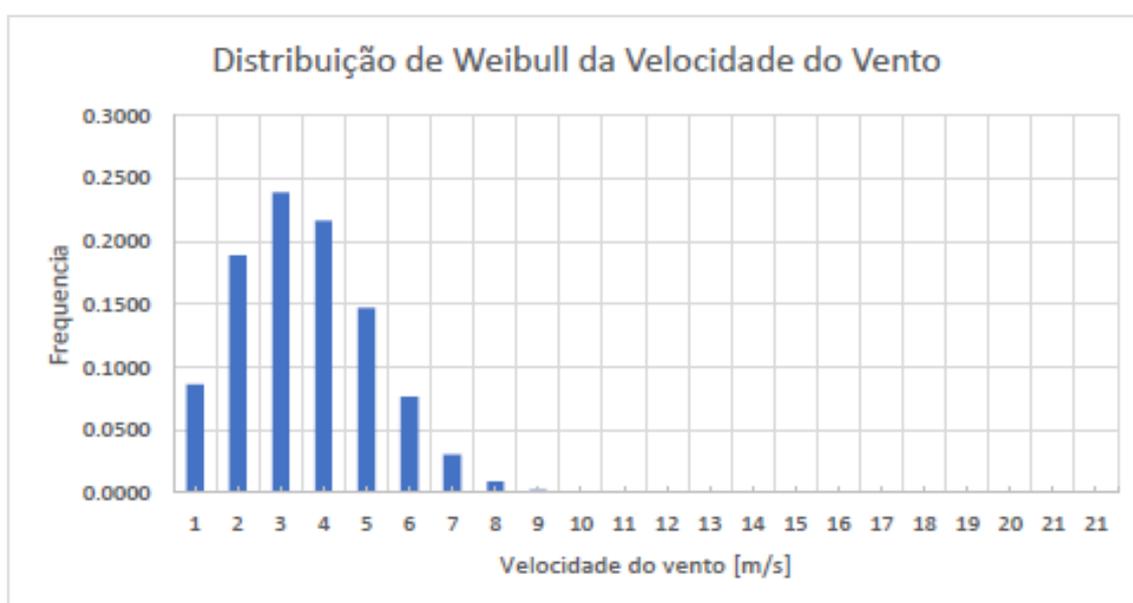


Figura 3.3 – Distribuição de Weibull para os ventos incidentes em Pouso Alegre a 30 metros de altura.

De acordo com o apresentado na distribuição de Weibull, Figura 3.2, Pouso Alegre não apresenta a incidência de ventos de muita intensidade, no máximo 9 a 10 m/s, mesmo assim, com frequência muito baixa.

3.5. Definição do Vento de Rajada

Desta forma, considerando um fator de segurança 2, pode-se admitir como sendo 20 m/s a velocidade máxima a correr na região da cidade.

Assim para os estudos de carregamento da força de arraste no mastro e na bandeira, devido à ação do vento, será admitido o valor de 20 m/s.

3.6. Carregamento do Mastro

Assim, considerando que a velocidade do vento ao longo do mastro varia de acordo com a lei de Hellman:

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{h_2}{h_1}\right)^\alpha \quad (7)$$

Onde:

α é dado de acordo com a Figura 3.3:

VALORES APROXIMADOS PARA O COMPRIMENTO DE RUGOSIDADE E PARA O EXPOENTE DE POTÊNCIA EM ALGUNS TERRENOS TÍPICOS		
Terreno	Z_0 (m)	α
Subúrbios	1,500	0,32
Plantações	0,050	0,19
Campos	0,030	0,13
Áreas com neve	0,003	0,10

Figura 3.4 – Rugosidade e expoente de potência para terrenos típicos.

A) Distribuição das velocidades

Considerando 30 metros como sendo a altura do mastro e que a velocidade do vento no seu topo é 20 [m/s], a aplicação da Equação 7 usando $\alpha = 0,32$ resulta no perfil de velocidades apresentado na Figura 3.4.

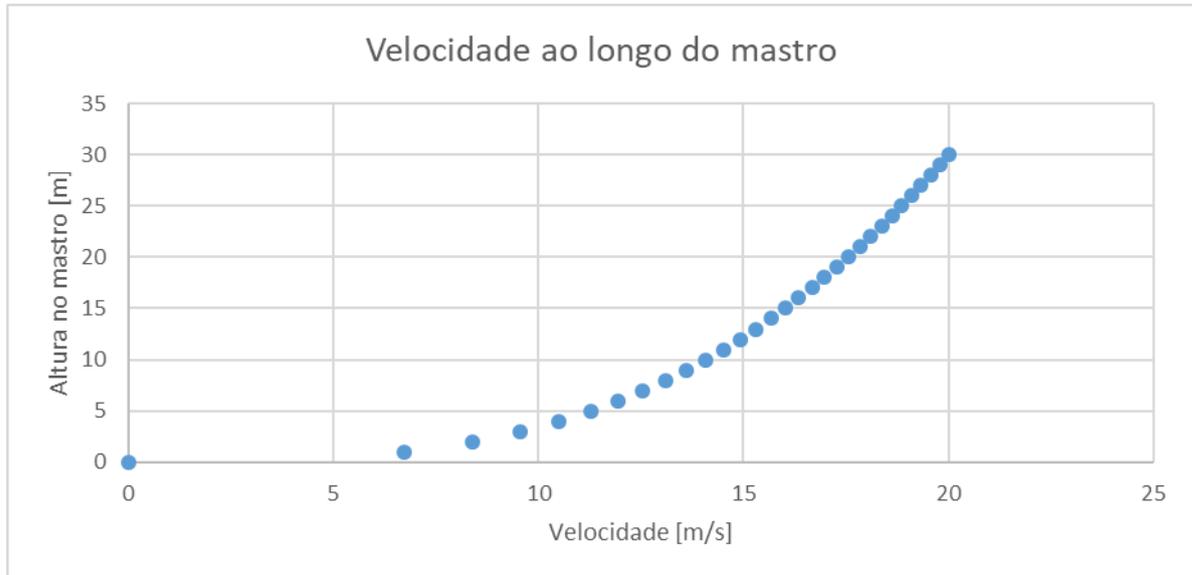


Figura 3.5 – Perfil de velocidades do vento incidindo sobre o mastro.

B) Carregamento no mastro (sem bandeira)

Com as velocidades do vento distribuídas ao longo do mastro, pode-se levantar o perfil de carregamento de arraste no mastro. Para fins de cálculo, admite-se o diâmetro do mastro $D = 0,60$ m, correspondente ao valor do diâmetro na base do mastro. Esse valor é baseado em consulta aos fabricantes de mastro.

O coeficiente de arrasto considerado é de $C_D = 0,30$, conforme já apresentado anteriormente. Usando a Equação 1 sem a multiplicação do comprimento do mastro, obtêm-se os dados de carga distribuída que são observados na Figura 3.5.

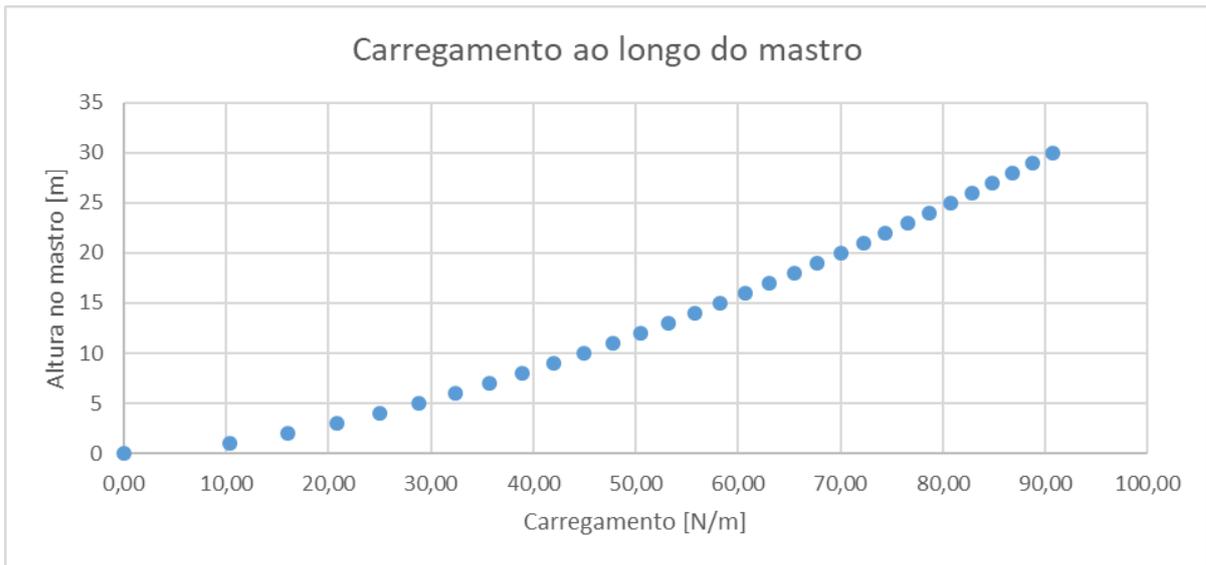


Figura 3.6 – Carga Distribuída ao longo do mastro devido ao vento.

Entretanto, é conveniente para os cálculos sectionar o perfil de carregamento em seções de 6 metros, conforme é a divisão do mastro, e aproximar a curva de carga distribuída a uma reta conectando as extremidades de cada seção. Desse modo, são formados uma carga distribuída triangular e 4 cargas distribuídas trapezoidais, como pode ser visto na Figura 3.6.

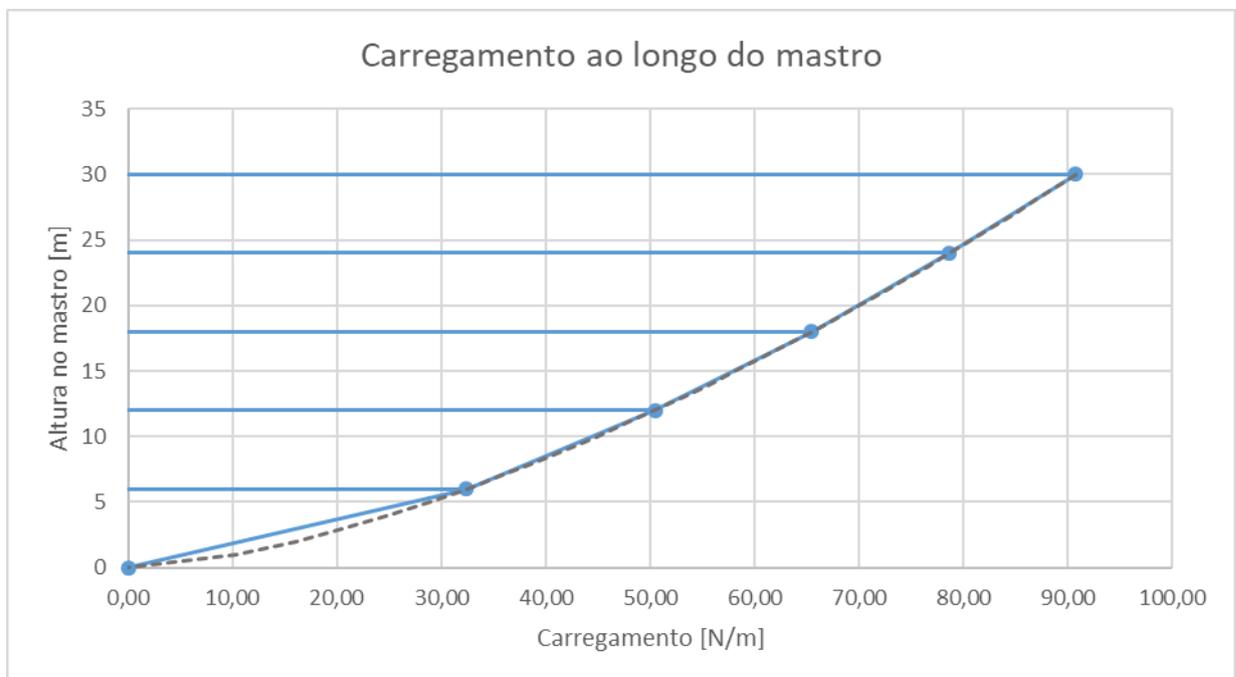


Figura 3.7 – Carregamento admitido para o mastro devido ao vento.

Segundo Hibbeler (2004), para a resolução do carregamento, é necessário considerar os carregamentos trapezoidais como a combinação de dois carregamentos: um retangular e um triangular. A intensidade da carga distribuída é igual à área sob a curva do carregamento, e atua sobre o centroide dessa área.

Portanto, para os carregamentos retangulares a resultante atua na linha de centro do retângulo, enquanto no triângulo a resultante atua a um terço da extremidade, como pode ser visto na Figura 3.7 e na Figura 3.8.

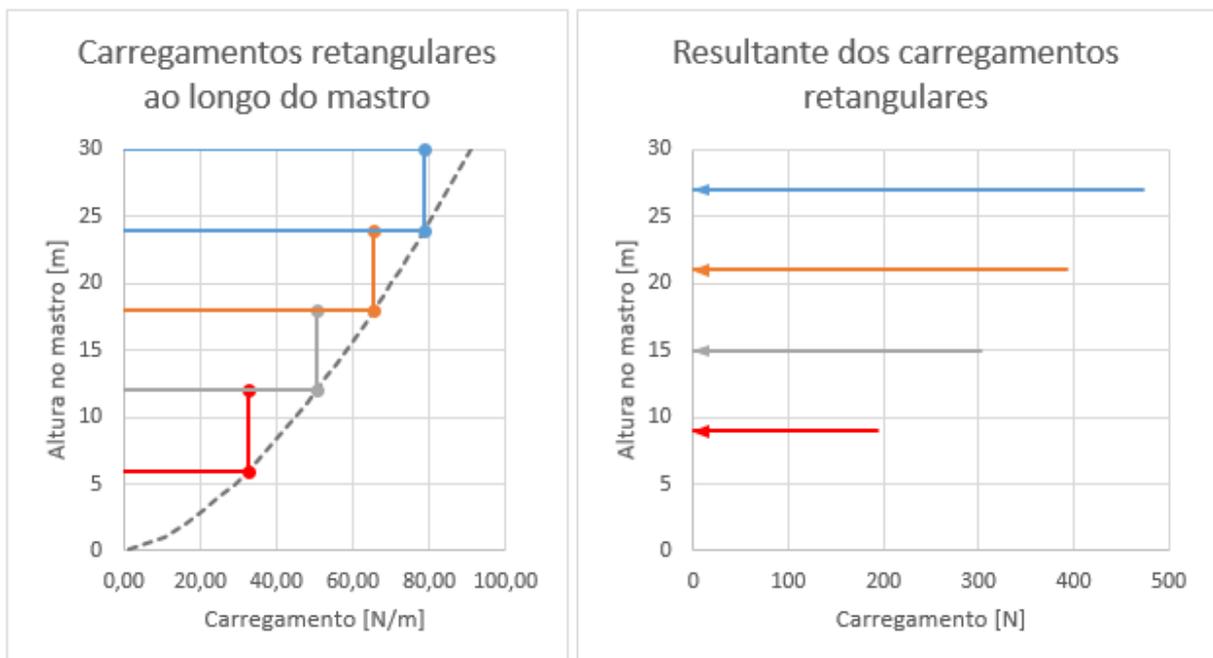


Figura 3.8 – Carregamentos retangulares devido ao vento.

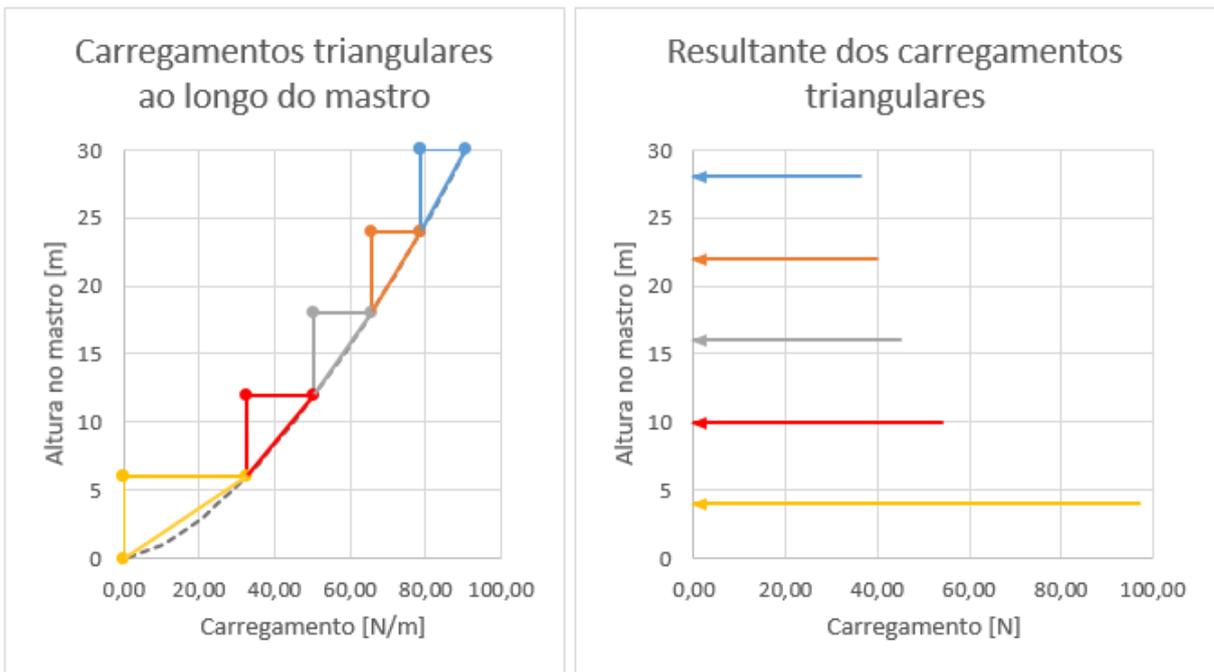


Figura 3.9 – Carregamentos triangulares devido ao vento.

C) Carregamento da bandeira

Dada a largura da bandeira (b) de 4,5 m e o comprimento (c) 6,40 m, a relação c/b é de 1,422. A partir do gráfico de Hoerner, como visto na Figura 2.2, obtém-se $C_D = 0,09$.

Assim, considerando a velocidade do vento no topo do mastro, ou seja, 20 m/s, através da Equação 1, obtém-se a força de arraste da bandeira. Admitindo que essa força é transmitida horizontalmente para as suas extremidades, localizadas nas alturas de 25,5 e 30 m do mastro, chega-se às forças demonstradas na Figura 3.9.

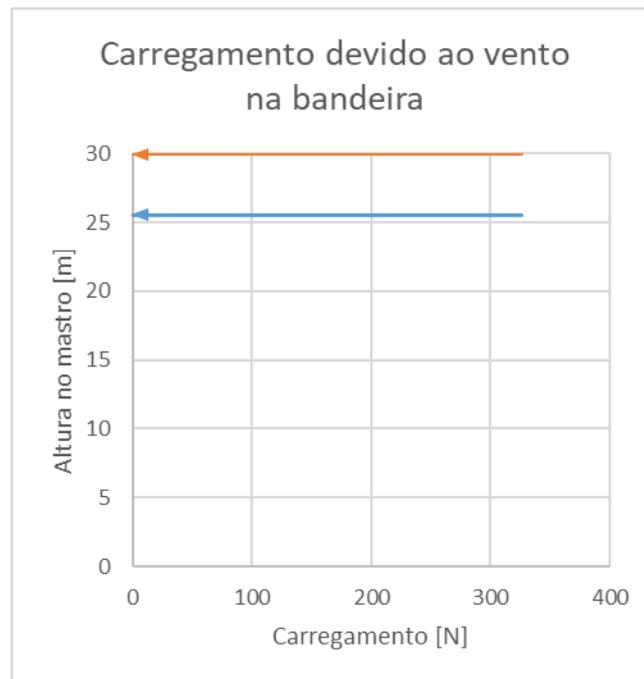


Figura 3.10 – Carregamentos oriundos da ação do vento sobre a bandeira.

D) Peso da estrutura

As forças até então consideradas são importantes para o dimensionamento do mastro bem como da fundação. Contudo, se faz necessário ainda considerar sobre a fundação a força peso derivada da massa do mastro, da bandeira e dos componentes usados para hastear a bandeira.

A massa do mastro é estimada em aproximadamente 2,35 toneladas. Porém, deve ser adicionado sobre esta massa um sobrepeso correspondente às fixações parafusadas, aos acessórios que são acoplados ao mastro para hasteamento da bandeira e o peso da bandeira (considerando ela molhada, já que esse é o caso onde ela apresenta maior massa devido a massa de água). Dessa forma, é considerada uma massa total de 2,50 toneladas sobre a fundação. Com os acessórios para hastear a bandeira são estimados em aproximadamente 2,5 toneladas.

E) Forças e momentos atuando sobre o mastro e sobre a fundação

A resolução dos carregamentos distribuídos sobre o mastro e a ação do vento sobre a bandeira permite que sejam encontradas as forças e momentos que atuam sobre a

fundação e sobre cada um dos flanges de conexão entre os tubos que compõem o mastro. A série de tabelas a seguir fornecem um resumo dos dados encontrados.

Tabela 3-2 – Resumo das forças e momentos sobre a fundação.

FORÇAS E MOMENTOS ATUANTES SOBRE A FUNDAÇÃO		
Carga distribuída retangular		
Cota (m)	Força (N)	Momento (N.m)
27	471,88	12740,77
21	392,53	8243,10
15	302,81	4542,18
9	194,32	1748,86
SUBTOTAL	1361,54	27274,91
Carga distribuída triangular		
Cota (m)	Força (N)	Momento (N.m)
28	36,22	1014,16
22	39,68	872,87
16	44,86	717,73
10	54,25	542,47
4	97,16	388,64
SUBTOTAL	272,16	3535,86
Forças oriundas da bandeira		
Cota (m)	Força (N)	Momento (N.m)
30,0	326,59	9797,76
25,5	326,59	8328,10
SUBTOTAL	653,18	18125,86
Cargas axiais		
Peso do mastro		
Cota (m)	Massa (kg)	Peso (N)
-	2500,00	24525,00
SUBTOTAL	2500,00	24525,00
SOMATÓRIO DE FORÇAS E MOMENTO		
Força cisalhante	2286,88	N
Força axial	24525,00	N
Momento	48936,63	N.m

Tabela 3-3 – Forças e momentos sobre a conexão C1, entre o primeiro e segundo tubo do mastro.

FORÇAS E MOMENTOS - CONEXÃO1			
6	Cota de referência conexão C1 (m)		
Carga distribuída retangular			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)
27	21	471,88	9909,49
21	15	392,53	5887,93
15	9	302,81	2725,31
9	3	194,32	582,95
SUBTOTAL		1361,54	19105,67
Carga distribuída triangular			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)
28	22	36,22	796,84
22	16	39,68	634,82
16	10	44,86	448,58
10	4	54,25	216,99
SUBTOTAL		175,00	2097,22
Forças oriundas da bandeira			
Cota (m)	Distância	Força (N)	Momento (N.m)
30	24	326,59	7838,21
25,5	19,5	326,59	6368,54
SUBTOTAL		653,18	14206,75
Forças oriundas da bandeira			
Peso do mastro			
Cota (m)	Massa (kg)	Peso (N)	Momento (N.m)
-	1489,36	14610,64	-
SUBTOTAL		1489,36	14610,64
SOMATÓRIO DE FORÇAS E MOMENTO			
Força cisalhante		N	2189,72
Força axial		N	14610,64
Momento		N.m	35409,65

Tabela 3-4 - Forças e momentos sobre a conexão C2, entre o primeiro e segundo tubo do mastro.

FORÇAS E MOMENTOS - CONEXÃO2	
12	Cota de referência conexão C2 (m)
Carga distribuída retangular	

FORÇAS E MOMENTOS - CONEXÃO2			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)
27	15	471,88	7078,21
21	9	392,53	3532,76
15	3	302,81	908,44
SUBTOTAL		1167,22	11519,40
Carga distribuída triangular			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)
28	16	36,22	579,52
22	10	39,68	396,76
16	4	44,86	179,43
SUBTOTAL		120,75	1155,71
Forças oriundas da bandeira			
Cota (m)	Distância	Força (N)	Momento (N.m)
30	18	326,59	5878,66
25,5	13,5	326,59	4408,99
SUBTOTAL		653,18	10287,65
Forças oriundas da bandeira			
Peso do mastro			
Cota (m)	Massa (kg)	Peso (N)	Momento (N.m)
-	904,26	8870,74	-
SUBTOTAL		904,26	8870,74
SOMATÓRIO DE FORÇAS E MOMENTO			
Força cisalhante		N	1941,16
Força axial		N	8870,74
Momento		N.m	22962,75

Tabela 3-5 - Forças e momentos sobre a conexão C3, entre o primeiro e segundo tubo do mastro.

FORÇAS E MOMENTOS - CONEXÃO3			
18	Cota de referência conexão C3 (m)		
Carga distribuída retangular			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)
27	9	471,88	4246,92
21	3	392,53	1177,59
SUBTOTAL		864,41	5424,51
Carga distribuída triangular			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)

FORÇAS E MOMENTOS - CONEXÃO3			
28	10	36,22	362,20
22	4	39,68	158,70
SUBTOTAL		75,90	520,90
Forças oriundas da bandeira			
Cota (m)	Distância	Força (N)	Momento (N.m)
30	12	326,59	3919,10
25,5	7,5	326,59	2449,44
SUBTOTAL		653,18	6368,54
Forças oriundas da bandeira			
Peso do mastro			
Cota (m)	Massa (kg)	Peso (N)	Momento (N.m)
-	521,28	5113,72	-
SUBTOTAL		521,28	5113,72
SOMATÓRIO DE FORÇAS E MOMENTO			
<i>Força cisalhante</i>		N	1593,49
<i>Força axial</i>		N	5113,72
<i>Momento</i>		N.m	12313,95

Tabela 3-6 - Forças e momentos sobre a conexão C4, entre o primeiro e segundo tubo do mastro.

FORÇAS E MOMENTOS - CONEXÃO4			
24	Cota de referência conexão C4 (m)		
Carga distribuída retangular			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)
27	3	471,88	1415,64
SUBTOTAL		471,88	1415,64
Carga distribuída triangular			
Cota (m)	Distância (m)	Força (N)	Momento (N.m)
28	4	36,22	144,88
SUBTOTAL		36,22	144,88
Forças oriundas da bandeira			
Cota (m)	Distância	Força (N)	Momento (N.m)
30	6	326,59	1959,55
25,5	1,5	326,59	489,89
SUBTOTAL		653,18	2449,44
Forças oriundas da bandeira			

FORÇAS E MOMENTOS - CONEXÃO4			
Peso do mastro			
Cota (m)	Massa (kg)	Peso (N)	Momento (N.m)
-	212,77	2087,23	-
SUBTOTAL	212,77	2087,23	-
SOMATÓRIO DE FORÇAS E MOMENTO			
Força cisalhante		N	1161,28
Força axial		N	2087,23
Momento		N.m	4009,96

4. PROJETO DO MASTRO

A estrutura foi processada em software para obtenção dos resultados de acordo com cada trecho de 6 metros, conforme a Figura abaixo.

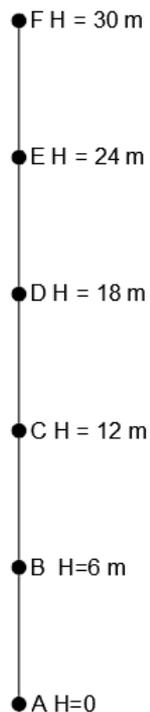


Figura 11: Trechos de Análise.
Fonte Autor.

As tabelas abaixo apresentam, de forma resumida, os resultados e taxa de utilização máxima do perfil na combinação mais desfavorável do estado limite último. De acordo com as diretrizes da ABNT NBR 8800:2008: “Projeto de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto em Edifícios”.

4.1. TRECHO A-B – SEÇÃO TC 52 X 9,52

VERIFICAÇÕES - PERFIS TUBULARES			
Esforços			
N (kN)	-22,595		
Vx (kN)	3,585		
Vy (kN)	3,585		
Mx (kN.m)	0		
My (kN.m)	72,063		
Geometria			
Lx (mm)	6		
Ly (mm)	6		
kx	2,1		
ky	2,1		
Ix	4,97E-04		
Iy	4,97E-04		
rx	0,180513317		
ry	0,180513317		
A	0,015267416		
D	0,52		
t	0,00952		
Material			
ASTM A36			
Fy (KN/m ²)	248211,28		
E (KN/m ²)	199947978,8		
DADOS			
λ_0	0,78		
Q - TC	1,00		
Ag	0,02		
Nex	6183,86		
Ney	6183,86		
X	0,77		
γ_{a1}	1,10		
Wt	0,010		
1. Verificação de Esbeltez do perfil			
Limite	Real	Status	%
200	69,80	OK	34,9%
200	69,80	OK	34,9%
2. Resistência à tração			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
3. Resistência à compressão			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
2665,64	22,595	OK	0,8%
4. Resistência à Flexão eixo X-X			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
5. Resistência à Flexão eixo Y-Y			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
554,254	72,063	OK	13,0%
6. Resistência ao esforço cortante eixo X			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
580,346	3,585	OK	0,6%
7. Resistência ao esforço cortante eixo Y			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
580,346	3,585	OK	0,6%
8. Resistência aos esforços combinados			
Nsd/Nrd	0,0085		
Combinação	Limite	Resultado	Cálculo
N.Mx.My	100%	OK	13,4%

4.2. TRECHO B-C – SEÇÃO TC 44 X 6,35

VERIFICAÇÕES - PERFIS TUBULARES			
Esforços			
N (kN)	-13,076		
Vx (kN)	3,313		
Vy (kN)	3,313		
Mx (kN.m)	51,371		
My (kN.m)	51,371		
Geometria			
Lx (mm)	6		
Ly (mm)	6		
kx	2,1		
ky	2,1		
Ix	2,03E-04		
Iy	2,03E-04		
rx	0,153334864		
ry	0,153334864		
A	0,008650933		
D	0,44		
t	0,00635		
Material			
ASTM A36			
Fy (KN/m ²)	248211,28		
E (KN/m ²)	199947978,8		
DADOS			
λ0	0,92		
Q - TC	1,00		
Ag	0,01		
Nex	2528,25		
Ney	2528,25		
X	0,70		
γa1	1,10		
Wt	0,006		
1. Verificação de Esbeltez do perfil			
Limite	Real	Status	%
200	82,17	OK	41,1%
200	82,17	OK	41,1%
2. Resistência à tração			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
3. Resistência à compressão			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
1368,08	13,076	OK	1,0%
4. Resistência à Flexão eixo X-X			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
5. Resistência à Flexão eixo Y-Y			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
256,954	51,371	OK	20,0%
6. Resistência ao esforço cortante eixo X			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
579,76	3,313	OK	0,6%
7. Resistência ao esforço cortante eixo Y			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
579,76	3,313	OK	0,6%
8. Resistência aos esforços combinados			
Nsd/Nrd	0,0096		
Combinação	Limite	Resultado	Cálculo
N.Mx.My	100%	OK	20,5%

4.3. TRECHO C-D – SEÇÃO TC 36 X 4,75

VERIFICAÇÕES - PERFIS TUBULARES			
Esforços			
N (kN)	-7,683		
Vx (kN)	0		
Vy (kN)	2,889		
Mx (kN.m)	0		
My (kN.m)	32,767		
Geometria			
Lx (mm)	6		
Ly (mm)	6		
kx	2,1		
ky	2,1		
Ix	8,36E-05		
Iy	8,36E-05		
rx	0,125611069		
ry	0,125611069		
A	0,005301241		
D	0,36		
t	0,00475		
Material			
ASTM A36			
Fy (KN/m ²)	248211,28		
E (KN/m ²)	199947978,8		
DADOS			
λ_0	1,12		
Q - TC	1,00		
Ag	0,01		
Nex	1039,70		
Ney	1039,70		
X	0,59		
γ_{a1}	1,10		
Wt	0,003		
1. Verificação de Esbeltez do perfil			
Limite	Real	Status	%
200	100,31	OK	50,2%
200	100,31	OK	50,2%
2. Resistência à tração			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
3. Resistência à compressão			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
704,30	7,683	OK	1,1%
4. Resistência à Flexão eixo X-X			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
5. Resistência à Flexão eixo Y-Y			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
126,977	32,767	OK	25,8%
6. Resistência ao esforço cortante eixo X			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
580,346	0	OK	0,0%
7. Resistência ao esforço cortante eixo Y			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
580,346	2,889	OK	0,5%
8. Resistência aos esforços combinados			
Nsd/Nrd	0,0109		
Combinação	Limite	Resultado	Cálculo
N.Mx.My	100%	OK	26,4%

4.4. TRECHO D-E – SEÇÃO TC 28 X 4,75

VERIFICAÇÕES - PERFIS TUBULARES			
Esforços			
N (kN)	-4,377		
Vx (kN)	0		
Vy (kN)	2,339		
Mx (kN.m)	0		
My (kN.m)	17,083		
Geometria			
Lx (mm)	6		
Ly (mm)	6		
kx	2,1		
ky	2,1		
Ix	3,89E-05		
Iy	3,89E-05		
rx	0,09733006		
ry	0,09733006		
A	0,004107436		
D	0,28		
t	0,00475		
Material			
ASTM A36			
Fy (KN/m ²)	248211,28		
E (KN/m ²)	199947978,8		
DADOS			
λ_0	1,45		
Q - TC	1,00		
Ag	0,00		
Nex	483,66		
Ney	483,66		
X	0,41		
γ_{a1}	1,10		
Wt	0,002		
1. Verificação de Esbeltez do perfil			
Limite	Real	Status	%
200	129,46	OK	64,7%
200	129,46	OK	64,7%
2. Resistência à tração			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
3. Resistência à compressão			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
383,56	4,377	OK	1,1%
4. Resistência à Flexão eixo X-X			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
5. Resistência à Flexão eixo Y-Y			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
79,905	17,083	OK	21,4%
6. Resistência ao esforço cortante eixo X			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
275,268	0	OK	0,0%
7. Resistência ao esforço cortante eixo Y			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
275,268	2,339	OK	0,8%
8. Resistência aos esforços combinados			
Nsd/Nrd	0,0114		
Combinação	Limite	Resultado	Cálculo
N.Mx.My	100%	OK	21,9%

4.5. TRECHO E-F – SEÇÃO TC 20 X 4,75

VERIFICAÇÕES - PERFIS TUBULARES			
Esforços			
N (kN)	-1,817		
Vx (kN)	0		
Vy (kN)	1,22		
Mx (kN.m)	0		
My (kN.m)	5,033		
Geometria			
Lx (mm)	6		
Ly (mm)	6		
kx	2,1		
ky	2,1		
Ix	1,39E-05		
Iy	1,39E-05		
rx	0,069051724		
ry	0,069051724		
A	0,002913631		
D	0,2		
t	0,00475		
Material			
ASTM A36			
Fy (KN/m ²)	248211,28		
E (KN/m ²)	199947978,8		
DADOS			
λ0	2,05		
Q - TC	1,00		
Ag	0,00		
Nex	172,69		
Ney	172,69		
X	0,21		
γa1	1,10		
Wt	0,001		
1. Verificação de Esbelteza do perfil			
Limite	Real	Status	%
200	182,47	OK	91,2%
200	182,47	OK	91,2%
2. Resistência à tração			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
3. Resistência à compressão			
Nrd (kN)	Nsd (kN)	Status	%
137,68	1,817	OK	1,3%
4. Resistência à Flexão eixo X-X			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
N.A	0	N.A	0,0%
5. Resistência à Flexão eixo Y-Y			
Mrd (kN.m)	Msd (kN.m)	Status	%
40,46	5,033	OK	12,4%
6. Resistência ao esforço cortante eixo X			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
195,267	0	OK	0,0%
7. Resistência ao esforço cortante eixo Y			
Vrd (kN)	Vsd (kN)	Status	%
195,267	1,22	OK	0,6%
8. Resistência aos esforços combinados			
Nsd/Nrd	0,0132		
Combinação	Limite	Resultado	Cálculo
N.Mx.My	100%	OK	13,1%

5. PROJETO DA FUNDAÇÃO

A escolha do tipo de fundação ideal para a instalação do mastro foi determinada a partir dos seguintes fatores:

- Elevado momento na base;
- Profundidade do bloco determinada pelo comprimento dos chumbadores;
- Ensaio SPT.

De acordo com o descrito fora determinada a fundação de bloco sobre estaca. As características geométricas e de material estão dispostas na prancha específica.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16287: Bandeiras – Confeção – Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, p. 22. 2019.

CASTILHO, G. S. **Avaliação da Resistência à Flexão de Tubos Poligonais de Parede Fina**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.

Eng-Tips.com- Engineering Forums, <https://www.eng-tips.com/viewthread.cfm?qid=1001>

Hibbeler, R. C. **Resistência dos Materiais**. 5. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2004.

Hoerner, S. F. **Fluid-Dynamics Drag**: theoretical, experimental and statistical information. Congress Catalog Card Number: 64-1966. California, 1965.

Mkrtchyan, H.; Johari, H. Detailed Aerodynamic Analysis of Ram-Air Parachute Systems in Steady Flight. **Conference Paper**, May 2011. DOI: 10.2514/6.2011-2553.

WHITE, F. M. **Mecânica dos Fluidos**. 6. ed. Porto Alegre: AMGH, 2011.

ANEXOS

Planilha de Cálculo

Ro do ar	1,26	kg/m ³		
alfa	0,32			
CD Mastro	0,3		Corpo cilíndrico, escoamento turbulento	
D	0,5	m		
H	30	m		
l	10	m		
BANDEIRA			Dimensões da Bandeira	
c	20	UND	8,6	m
b	14	UND	6	m
c/b	1,43			
CD	0,09		GRÁFICO DE HOERNER	

H (m)	V (m/s)	Mastro	Bandeira		Soma
		FD M (N)	FD B (N)	FD B/2 (N)	
30	20,00	378,00	1166,40	583,20	961,20
24	18,62	327,69		583,20	910,89
20	17,57	291,60			291,60
10	14,07	187,13			187,13
0	0	0			0