UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO

CENTRO TECNOLÓGICO

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

FABRÍCIO ZANON BASTOS

RENAN DE JESUS SALGADO DA SILVA

PROJETO DE ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE UMA BOMBA HIDRÁULICA PARA UM BRINQUEDO DE PARQUE AQUÁTICO

Vitória

2016

FABRÍCIO ZANON BASTOS

RENAN DE JESUS SALGADO DA SILVA

PROJETO DE ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE UMA BOMBA HIDRÁULICA PARA UM BRINQUEDO DE PARQUE AQUÁTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador: Prof. Dr. Fernando César Meira Menandro

Vitória

2016

FABRÍCIO ZANON BASTOS

RENAN DE JESUS SALGADO DA SILVA

PROJETO DE ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO E ESPECIFICAÇÃO DE UMA BOMBA HIDRÁULICA PARA UM BRINQUEDO DE PARQUE AQUÁTICO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica do Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Vitória, 22 de Junho de 2016.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Fernando César Meira Menandro

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (Orientador)

Prof. Dr. Luciano Lara

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES (Avaliador 1)

Eng. Leonardo Belichi

Universidade Federal do Espírito Santo - UFES (Avaliador 2)

"A persistência é o menor caminho do êxito".

Charles Chaplin

RESUMO

A utilização de estruturas metálicas na construção civil tem proporcionado soluções arrojadas e eficazes, reforçando a ideia de modernidade e inovação. Estruturas metálicas possuem algumas vantagens em relação aos demais sistemas construtivos, como uma maior precisão uma vez que os elementos são produzidos em fábricas, além de capacidade de inserção de seções menores e, por fim, maior rapidez quanto à fabricação da estrutura. Este trabalho trata dos conceitos de Resistência dos Materiais e de Mecânica dos Fluídos para a execução do dimensionamento, feito de forma manual, de uma estrutura de sustentação de um toboágua, bem como o dimensionamento e especificação de uma bomba hidráulica. Para isso, foram apresentados os esforços atuantes na estrutura e como os mesmos agem nos diferentes elementos de sua composição, assim como as determinações das tensões, deflexões, análise de flambagem e impacto. Os componentes da fixação da estrutura no concreto foram dimensionados e seus materiais selecionados de acordo com os esforços que atuam sobre ele, além das determinações dos diâmetros de recalque e de sucção, altura manométrica e da potência necessária de bombeio. Para tal fim, foi calculado o número de Reynolds no recalque e na sucção, a partir dos diâmetros determinados. Definiu-se o material das tubulações a serem utilizadas, bem como as peças especiais que compõem as mesmas e o posicionamento da bomba. Por fim, após a determinação da altura manométrica e potência de bombeio, foi especificado uma bomba hidráulica que atendesse às exigências do projeto. Concluiu-se que tanto o projeto estrutural, fixação e a especificação da bomba hidráulica foram satisfatórios, todavia, exclusivamente teórico, o que sugere estudos mais aprofundados no que tange à realização da construção da estrutura proposta neste trabalho.

ABSTRACT

The use of steel structures in construction has provided bold and effective solutions, reinforcing the idea of modernity and innovation. Metal structures have some advantages in relation to other construction systems, as a higher accuracy since the components are produced in factories, smaller sections and, ultimately, faster construction of the structure. This work deals with the concepts of Strength of Materials and Mechanics of Fluids for the structural design of a supporting structure of a water slide as well as the design and specification of a hydraulic pump. For this, the forces acting on the structure are shown and how they act in the various parts of its composition, as well as the determination of stresses, deflections, buckling analysis and impact. The attachment components of the concrete structure being dimensioned and its material selected according to the internal forces acting, in addition to the determinations of the diameters of discharge and suction head height and the required pumping power. To this end the Reynolds number of the discharge and suction was calculated from the determined diameters. The material of the pipe is defined to be used, as well as special parts that make up the same and positioning of the pump. Finally, after determining the total head and power pump, it was specified a hydraulic pump that meets the design requirements. It was concluded that both the structural design and setting the hydraulic pump specification were satisfactory, however, only theoretical, suggesting further studies regarding the completion of construction of the structure proposed in this paper.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - O primeiro toboágua que se tem registro, em 1906	14
Figura 2 - Diagrama de tensões de flexão (viga de seção transversal retangular)	18
Figura 3 - Representação do toboágua utilizado no Solid Edge [®]	23
Figura 4 - Carga sobre o toboágua.	28
Figura 5 - Trecho 0-2	28
Figura 6 - Trecho 2-3	29
Figura 7 - Trecho 4-6	29
Figura 8 - Trecho 4-6 com usuário	30
Figura 9 - Trecho 0-2 com usuário.	38
Figura 10 - Haste de sustentação com carregamento	39
Figura 11 - Análise de deflexão da haste	41
Figura 12 - Momentos na direção y aplicados sobre o eixo principal	43
Figura 13 - Diagrama de momento fletor na direção y sem a aplicação da força P	44
Figura 14 - Deformação em x obtida com o uso do programa Ftool	44
Figura 15 - Momentos na direção x aplicados sobre o eixo principal	45
Figura 16 - Diagrama de momento fletor na direção x sem a aplicação da força P	45
Figura 17 - Deformação em y obtida com o uso do programa Ftool	46
Figura 18 - Esforços axiais aplicados sobre o eixo principal	46
Figura 19 - Diagrama de esforço axial sobre o eixo principal	46
Figura 20 - Deformação em z obtida com o uso do programa Ftool	47
Figura 21 - Análise de impacto sobre o toboágua	48
Figura 22 - Argamassa expansiva de assentamento e placa de base circular	52
Figura 23 – Desenho esquemático do bloco de sustentação	54
Figura 24 - Distribuição de esforços na ligação (PIMENTA et al., 2010)	59
Figura 25 - Ligação da estrutura ao bloco de concreto	63
Figura 26 - Catálogo Schneider	72
Figura 27 - Modelo BC-92 S/T 1B	73
Figura 28 - Gráfico de Rendimento da bomba e potência do eixo	73
Figura 29 - Vistas cotadas da estrutura metálica e ligação rígida no bloco de conci	reto.
	79
Figura 30 - Vista superior do tubo helicoidal do toboágua	80
Figura 31 - Vistas do sistema hidráulico do toboágua	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela de dimensões mínimas para a ligação	54
Tabela 3 - Dimensões finais da ligação	62
Tabela 4 – Tabela de rugosidades absolutas	67
Tabela 5 - Comprimentos equivalentes dos acessórios da tubulação	68
Tabela 6 – Comprimentos equivalentes na tubulação de recalque	68
Tabela 7 - Comprimentos equivalentes na tubulação de sucção	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

h _{toboágua}	Altura do toboágua
n _{rotações}	Número de rotações do toboágua
h	Altura de uma rotação completa do toboágua
L _{rot}	Comprimento de uma rotação do toboágua
r _{hel}	Raio de hélice
L	Comprimento total do toboágua
L _{plano}	Comprimento do semicírculo
r _i	Raio interno
е	Espessura do tubo
$ ho_{fibra}$	Massa específica da fibra
P _{tubo}	Força peso do tubo
m _{tubo}	Massa do tubo
g	Aceleração da gravidade
V _{tubo}	Volume do tubo
V _{semicirculo}	Volume do semicírculo
V _{água}	Volume da água
$ ho_{a arsigma o}$	Massa específica do aço
P _{haste}	Força peso da haste
q_{tubo}	Carregamento do tubo
A _{tubo}	Área da secção transversal do tubo
e'	Espessura do semicírculo
A _{semicirculo}	Área da secção transversal do semicírculo
r _e	Raio externo do tubo
<i>q_{semicírculo}</i>	Carregamento do semicírculo
P _{água}	Força peso da água
$ ho_{água}$	Massa específica da água
<i>q_{água}</i>	Carregamento da água
A _{água}	Área do filme de água

h'	Altura do filme de água
<i>R</i> ₁	Reação no apoio 1
R_2	Reação no apoio 2
<i>R</i> ₃	Reação no apoio 3
R_4	Reação no apoio 4
<i>R</i> ₅	Reação no apoio 5
Р	Força peso do usuário
M _{max}	Momento fletor máximo
\overline{y}	Centroide da secção semicircular
Ι	Momento de inércia da secção semicircular
σ_{max}	Tensão máxima de flexão
R _t	Reação de apoio total
<i>M</i> ₁	Momento aplicado no apoio 1
<i>M</i> ₂	Momento aplicado no apoio 2
<i>M</i> ₃	Momento aplicado no apoio 3
M_4	Momento aplicado no apoio 4
<i>M</i> ₅	Momento aplicado no apoio 5
M_{T_X}	Componente do momento fletor total em relação ao eixo x
M_{T_y}	Componente do momento fletor total em relação ao eixo y
M_T	Momento fletor total
σ_e	Tensão de escoamento do aço
r _{eixo}	Raio do eixo
λ	Índice de esbeltez
λ_c	Índice de esbeltez crítico
Ε	Constante elástica do aço
$\sigma_{admflam}$	Tensão admissível de flambagem
$\sigma_{admflex}$	Tensão admissível de flexão
M _{hmax}	Momento fletor máximo na haste
L _{haste}	Comprimento da haste
r _{haste}	Raio da haste

δ	Deflexão da haste
U _i	Energia de deformação
E _{pot}	Energia potencial gravitacional
FS	Fator de segurança
t_p	Espessura da placa de base
$t_{p,min}$	Espessura mínima da placa de base
d_b	Diâmetro externo do chumbador
$d_{b,min}$	Diâmetro externo mínimo do chumbador
n_b	Número dos chumbadores
l_b	Comprimento dos chumbadores
<i>a</i> ₁	Distância mínima entre o chumbador e borda da placa de base
<i>a</i> ₂	Distância mínima entre dois chumbadores consecutivos
<i>a</i> ₃	Distância mínima entre chumbador de borda do bloco
h_1	Profundidade de imersão do comprimento do chumbador
h_2	Comprimento do chumbador externo ao bloco de concreto
e_n	Comprimento da borda argamassa expansiva
N _b	Comprimento do bloco de concreto
B _b	Largura do bloco de concreto
A_b	Altura do bloco de concreto
M _{sd}	Momento fletor total na fixação
N _{sd}	Força de compressão exercida sobre a placa de base
е	Excentricidade
l_x	Comprimento da placa de base
l_y	Largura da placa de base
$\sigma_{c,Rd}$	Tensão resistente de cálculo à pressão
f _{ck}	Resistência à compressão característica do concreto
γ_n	Coeficiente de comportamento do concreto
γ_c	Coeficiente de ponderação das resistências
A_1	Área carregada sob a placa de apoio
<i>A</i> ₂	Área da superfície de concreto

l _c	Trecho da placa sujeito à pressão de contato de concreto
F _{t,Sd}	Força de tração nos chumbadores
а	Distância da linha do círculo formado pelo chumbadores
$n_{b,eq}$	Número equivalente de chumbadores
f_{ub}	Resistência à ruptura do material do chumbador
γ_{a2}	Coeficiente de ponderação das resistências
$f_{\mathcal{Y}}$	Resistência ao escoamento do aço
γ _{a1}	Coeficiente de ponderação da resistências
S	Espaçamento das barras da armadura
Φ	Diâmetro das barras da armadura
v_m	Velocidade média de descida do usuário
L	Comprimento do toboágua
t	Tempo estimado de descida do toboágua
Q	Vazão volumétrica
D_r	Diâmetro de recalque
D_s	Diâmetro de sucção
H _{man.r}	Altura manométrica no recalque
<i>Re</i> _r	Número de Reynolds no recalque
ν	Viscosidade da água
fr	Fator de atrito no recalque
3	Rugosidade absoluta da tubulação
J _r	Perda de carga unitária no recalque
Ltotal _r	Comprimento total da tubulação no recalque
L_r	Comprimento real da tubulação no recalque
Leq _r	Comprimento equivalente das conexões no recalque
H _{man.s}	Altura manométrica na sucção
Res	Número de Reynolds na sucção
f _s	Fator de atrito na sucção
J _s	Perda de carga unitária na sucção
Ltotal _s	Comprimento total da tubulação na sucção

L _s	Comprimento real da tubulação na sucção
Leq _s	Comprimento equivalente das conexões na sucção
H_r	Altura real no recalque
H _s	Altura real na sucção
H _{man}	Altura manométrica
Pot	Potência hidráulica
γ	Peso específico da água

Sumário

1.	INTRODUÇÃO13		
2.	OBJETIVO1		
3.	METODOLOGIA E RESULTADOS16		
4.	4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA		
	4.1.	Vigas e tensão	17
	4.2	2. Tensão de flexão em uma viga	17
	4.2	2.1. Superfície neutra e linha neutra	17
	4.3.	Flambagem	18
	4.3	3.1. Cálculo da carga crítica	18
	4.4.	Princípios do trabalho virtual	19
	4.5.	Teorema de castigliano	19
	4.6.	Bombas	20
	4.7.	Perda de carga	20
	4.7	7.1. Fatores que influenciam na perda de carga	20
	4.8.	Número de Reynolds	21
5.	DIMENS	ÕES DO TOBOÁGUA	23
	5.1.	Obtenção do comprimento total do toboágua	24
6.	CARREG	AMENTOS EMPREGADOS NA ESTRUTURA METÁLICA	25
	6.1.	Cálculo do carregamento devido ao peso do tubo de fibra	25
	6.2.	Cálculo do carregamento devido ao peso do semicírculo de fibra	25
	6.3.	Cálculo do carregamento devido ao peso da água	26
7.	ESFORÇ	OS SOBRE A ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO	28
8.	CÁLCUL	O DOS ESFORÇOS SOBRE O TOBOÁGUA	32
	8.1.	Análise das tensões sobre o toboágua	33
9.	DIMENSI	ONAMENTO DO EIXO DE SUSTENTAÇÃO	34
	9.1.	Cálculo da reação de apoio	34

	9.2.	Cálculo dos momentos aplicados	34
	9.3.	Dimensionamento através da tensão normal de flexão	35
	8.4.	Análise do efeito da flambagem	36
10.	DIMENS	ONAMENTO DAS HASTES	38
11.	CÁLCUL	O DAS DEFLEXÕES NA ESTRUTURA	41
	11.1.	Deflexão nas hastes de sustentação	41
	11.2.	Deflexão no eixo principal	43
	10	.2.1 Componentes dos momentos	43
	11	.2.1. Deflexão devido aos momentos em y	43
	11	.2.2. Deflexão devido aos momentos em x	45
	11	.2.3. Deflexão devido ao esforço normal no eixo	46
12.	ANÁLISE	DE IMPACTO	48
13.	DIMENS	ONAMENTO DA LIGAÇÃO DA ESTRUTURA	52
14.	DIMENS	ONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO DO TOBOÁGUA	64
	14.1.	Determinação da velocidade média de descida do usuário no	
	toboág	jua	64
	14.2.	Determinação da vazão de água no toboágua	64
	14.3.	Determinação do diâmetro de recalque e de sucção	64
	14.4.	Determinação da altura manométrica de elevação	65
	14.5.	Determinação da potência necessária de bombeio	71
15.	CONCLU	ISÃO	75
16.	TRABALHOS FUTUROS76		76
17.	REFERÊ	NCIAS	77
18.	ANEXOS		79

1. INTRODUÇÃO

Desde o século XVIII, quando se iniciou a utilização de estruturas metálicas na construção civil até os dias atuais, o aço tem possibilitado aos arquitetos, engenheiros e construtores, soluções arrojadas, eficientes e de alta qualidade. Das primeiras obras - como a Ponte Ironbridge na Inglaterra, de 1779 - aos ultramodernos edifícios que se multiplicaram pelas grandes cidades, a arquitetura em aço sempre esteve associada à ideia de modernidade, inovação e vanguarda, traduzida em obras de grande expressão arquitetônica e que invariavelmente traziam o aço aparente. No entanto, as vantagens na utilização de sistemas construtivos em aço vão muito além da linguagem estética de expressão marcante; redução do tempo de construção, racionalização no uso de materiais e mão de obra e aumento da produtividade, passaram a ser fatores chave para o sucesso de qualquer empreendimento. (COELHO, 2001)

A construção metálica tem atravessado uma fase de grande expansão no Brasil. Desde a década de oitenta tem-se vivenciado o crescimento do mercado de estruturas em aço, fomentado principalmente por aqueles relacionados ao desenvolvimento sustentável.

No processo de desenvolvimento de uma de estrutura metálica, a industrialização se dá desde criação do projeto, passando pela fabricação dos perfis até a sua montagem no canteiro de obras, o que permite um maior controle da cadeia produtiva, fazendo com que prazos, custos e qualidade possam ser definidos logo no início do processo.

Já em termos de meio ambiente, o material empregado é reciclável, uma vez que esgotada a vida útil da edificação, este material pode retornar sob forma de sucata aos fornos das usinas siderúrgicas para ser reprocessado sem perda de qualidade.

O aço é 100% reciclável, pode ser indefinidamente reciclado em sua totalidade sem perder nenhuma de suas qualidades. Mais da metade do aço produzido na França e na União Europeia e 40% da produção mundial de aço é obtida a partir do aço reciclado. Este índice vem aumentando ano após ano, preservando recursos e o meio ambiente (LEMOINE, 2002).

Nos parques aquáticos, as estruturas metálicas, devido a ampla vantagem sobre os outros sistemas construtivos, têm sido amplamente empregadas desde 1906 na Nova

Zelândia, quando se teve registro do primeiro toboágua fabricado como pode ser observado na figura 1, até os dias de hoje nos maiores parques aquáticos do mundo.



Figura 1 - O primeiro toboágua que se tem registro, em 1906. (FuncrewUSA, 2015)

Segundo Porto (2004), a localização de muitas cidades em cotas bastante elevadas em relação aos recursos próximos, ou à enorme distância dos recursos que se encontram em posição mais alta que a cidade, constitui obstáculos à adoção de sistemas que funcionam por gravidade, no qual há o aproveitamento da energia potencial de posição para o transporte da água. Devido a tal fato, se faz necessário transferir energia para o líquido, por meio de um sistema eletromecânico, a fim de vencer esses obstáculos. Um conjunto destinado a elevar água denomina-se sistema elevatório ou sistema de recalque.

2. OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar os procedimentos de dimensionamento de um projeto de estrutura de sustentação e especificação de uma bomba hidráulica de um brinquedo de parque aquático. Estes procedimentos serão baseados nas principais normas nacionais, além do uso de conceitos de Resistência dos Materiais e Mecânica dos Fluidos.

3. METODOLOGIA E RESULTADOS

Foi escolhido um toboágua em forma helicoidal e as dimensões de sua estrutura foram obtidas a partir das equações básicas de Resistência dos Materiais que dizem respeito a esforços axiais, momentos fletores, flambagem, deformações e análise de impacto.

As dimensões da estrutura de sustentação do toboágua foram obtidas através de cálculos estruturais e foram analisadas tanto as condições de flexão, como também de flambagem, sendo que esta se tornou mais crítica. Todos os cálculos, por sua vez, serão apresentados detalhadamente no capítulo 4.

Foram usados os conceitos de Mecânica dos Fluidos para o dimensionamento e posteriormente a especificação de uma bomba hidráulica, a partir das determinações dos diâmetros de recalque, sucção, altura manométrica e potência necessária de bombeio.

Em anexo podem ser observadas as vistas cotadas da estrutura e ligação, do toboágua e do sistema hidráulico. Todas as medidas estão em milímetros.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1. Vigas e tensão

Inicialmente, introduziremos o conceito de viga, sendo ela uma estrutura linear que trabalha, geralmente, em posição horizontal, assentada em um ou mais apoios e que tem a função de suportar os carregamentos normais, podendo ser de madeira, concreto, aço ou mistas.

A tensão é uma resposta dos elementos estruturais aos esforços internos aplicados, força normal que dá origem à tração ou à compressão, momento fletor que dá origem à flexão, momento torçor que dá origem à torção e força cortante que dá origem ao cisalhamento.

A fórmula geral para qualquer que seja a tensão (Normal, flexão, torção ou cisalhamento) é:

$$Tensão = \frac{Esforço interno aplicado}{Características geométricas da seção transversal}$$
(1)

Os esforços internos podem ser normais, momentos fletores, torçores ou cortantes. Já as características da seção transversal podem ser a área, momento de inércia, etc.

4.2. Tensão de flexão em uma viga

As vigas quando submetidas a esforços externos ocorrem deformações de flexão devido ao momento fletor, surgindo desta forma as tensões de flexão.

Quando as fibras superiores são submetidas à tensões de compressão, as fibras inferiores são submetidas à tensões de tração, ou o contrário. A tensão máxima de compressão ou tração ocorre na superfície mais afastada do material.

4.2.1. Superfície neutra e linha neutra

É uma superfície em algum lugar entre o topo e a base da viga em que as linhas longitudinais não mudam de comprimento. Já a linha neutra é a interseção da superfície neutra com qualquer plano de seção transversal. Na linha neutra, não há esforço, nem de tração, nem de compressão.



Onde, de acordo com a figura 2:

 σ_f é a tensão de flexão, *M* o momento fletor na seção considerada;

 \bar{y} distância da linha neutra à fibra considerada;

I o momento de Inércia em relação à linha neutra.

4.3. Flambagem

Flambagem é um fenômeno que ocorre em peças esbeltas (peças onde a área de secção transversal é pequena em relação ao seu comprimento), quando submetidas a um esforço de compressão axial. A flambagem acontece quando a peça sofre flexão transversalmente devido à compressão axial. A flambagem é considerada uma instabilidade elástica, assim, a peça pode perder sua estabilidade sem que o material já tenha atingido a sua tensão de escoamento. Este colapso ocorrerá sempre na direção do eixo de menor momento de inércia de sua seção transversal. Os sistemas mecânicos e estruturas em geral quando estão submetidos a carregamentos, pode falhar de várias formas, o que vai depender do material usado, do tipo de estrutura, das condições de apoio, entre outras considerações. Elementos compridos e esbeltos sujeitos a uma força axial de compressão são chamados de colunas e a deflexão lateral que sofrem é chamada de flambagem. Em geral a flambagem leva a uma falha repentina e dramática da estrutura.

4.3.1. Cálculo da carga crítica

É a carga axial máxima (Pcr) que uma coluna pode suportar antes de ocorrer a flambagem. Qualquer carga adicional provocará flambagem na coluna.

Comportamento da coluna ideal:

- Se P < Pcr, a coluna está em equilíbrio estável na posição reta.
- Se P = Pcr, a coluna está em equilíbrio neutro tanto na posição reta quanto na posição levemente flexionada.
- Se P > Pcr, a coluna está em equilíbrio instável na posição retilínea e irá flambar sobre a menor

Tensão crítica é a tensão imediatamente antes de a coluna flambar, essa tensão é uma tensão elástica e, portanto, $\sigma_{cr} \leq \sigma_e$.

4.4. Princípios do trabalho virtual

A palavra virtual significa que as quantidades são imaginárias e que não existem no sentido real ou físico. Logo, deslocamento virtual é imaginário e arbitrariamente imposto sobre o sistema estrutural. Já o trabalho realizado por forças reais durante um deslocamento virtual é chamado de trabalho virtual. Se sistema de cargas em equilíbrio atua sobre um corpo rígido, pode-se dar a ele um deslocamento virtual consistindo numa translação, rotação ou uma combinação de ambas. Durante esse deslocamento virtual, o trabalho realizado pelas forças deve ser igual à zero porque as forças estão em equilíbrio. Esta afirmação consiste no princípio dos deslocamentos virtuais. Também é possível aplicar o princípio dos deslocamentos virtuais aos casos de estruturas deformáveis. Para isto, deve-se levar em consideração o trabalho virtual das forças externas e internas. Para esta situação, pode-se imaginar uma estrutura em equilíbrio, sob a ação de forças, momentos fletores, torques e carga distribuída. Admite-se que a estrutura é submetida a uma deformação virtual que consiste em uma pequena mudança na sua forma. Durante a deformação virtual, cada elemento da estrutura será deslocado para uma nova posição, acarretando a deformação da própria estrutura. Consequentemente, as forças exercidas num elemento (tensões resultantes e cargas externas) realizarão trabalho virtual. A deformação virtual, ou o deslocamento virtual, deve ser compatível com os suportes da estrutura e manter sua continuidade. A mudança virtual na forma pode ser arbitrariamente imposta à estrutura e não deve ser confundida com deformações causadas por cargas reais.

4.5. Teorema de castigliano

Teorema de Castigliano indica que a derivada parcial da energia de deformação, em relação a qualquer carga Pi é igual ao deslocamento correspondente. Esse teorema só pode ser aplicado no cálculo de deslocamentos que correspondam às cargas

atuantes na estrutura. Para calcular o deslocamento em uma região, será necessário colocar uma carga fictícia na estrutura, equivalente ao deslocamento desejado. Com isso, faz-se o cálculo do deslocamento usando o Segundo Teorema de Castigliano. O resultado mostra que esse valor é expresso em relação às reais e fictícias. Por fim, igualando-se a carga fictícia a zero na expressão final, obtém-se o deslocamento desejado devido às cargas reais.

4.6. Bombas

São máquinas hidráulicas operatrizes, isto é, máquinas que recebem energia potencial (força motriz de um motor ou turbina), e transformam parte desta potência em energia cinética (movimento) e energia de pressão (força), cedendo estas duas energias ao fluído bombeado, de forma a recirculá-lo ou transportá-lo de um ponto a outro. Portanto, o uso de bombas hidráulicas ocorre sempre que há a necessidade de aumentar-se a pressão de trabalho de uma substância líquida contida em um sistema. Nas bombas centrífugas a movimentação do fluído ocorre pela ação de forças que se desenvolvem na massa do mesmo, em consequência da rotação de um eixo no qual é acoplado um disco (rotor, impulsor) dotado de pás (palhetas, hélice), o qual recebe o fluído pelo seu centro e o expulsa pela periferia, pela ação da força centrífuga, daí o seu nome mais usual.

4.7. Perda de carga

Perda de carga pode ser definida como sendo a perda de energia do fluido durante o escoamento em uma tubulação, devido ao atrito entre o ele e a tubulação, quando o fluido está em movimento. Diversos engenheiros e pesquisadores da hidráulica já estudaram as perdas de carga e, portanto existem várias expressões que as definem, mas qualquer que seja o autor e a expressão pode determinar quais são as variáveis hidráulicas.

4.7.1. Fatores que influenciam na perda de carga

Quanto maior o comprimento da tubulação, maior a perda de carga, pois o comprimento é diretamente proporcional à perda de carga. E também, quanto maior o diâmetro, menor a perda de carga, pelo fato do diâmetro ser inversamente proporcional à perda de carga. Assim como, quanto maior a velocidade do fluido, maior a perda de carga. E por fim, a rugosidade do material do tubo e o tempo de uso.

Existem tabelas onde encontramos esses valores em função da natureza do material do tubo. O tempo de uso, ou seja, a idade do tubo também é uma variável a ser considerada, devido principalmente ao tipo de material que for utilizado (ferro fundido, aço galvanizado, aço soldado com revestimento, etc.). O envelhecimento de um tubo provoca incrustações ou corrosões que poderão alterar desde o fator de rugosidade ou até o diâmetro interno do tubo. A viscosidade, ou seja, o atrito intermolecular do fluido também influencia a perda de carga em um sistema. Líquidos com viscosidades diferentes vão possuir perdas de cargas distintas ao passar dentro de uma mesma tubulação. As perdas de cargas normais ocorrem ao longo de um trecho de tubulação retilíneo, com diâmetro constante. Se houver mudança de diâmetro, muda-se o valor da perda de carga. As perdas de carga localizadas são as perdas que ocorrem nas conexões (curvas, derivações), válvulas (registros de gaveta, registros de pressão, válvulas de descarga) e nas saídas de reservatórios. Essas peças causam turbulência, alteram a velocidade da água, aumentam o atrito e provocam choques das partículas líquidas. O método que será utilizado para calcular as perdas de carga localizadas é o método dos comprimentos equivalentes ou virtuais. Em uma tabela já existem todas as conexões e válvulas nos mais diversos diâmetros e a comparação com a perda de carga normal em uma tubulação de mesmos diâmetros.

4.8. Número de Reynolds

O número de Reynolds é definido como a razão entre as forças de inércia e as forças viscosas do fluido. Embora introduzido conceitualmente no século 19 por um cientista da época, tornou-se popularizado na mecânica dos fluidos pelo engenheiro hidráulico e físico Irlandês, Osborne Reynolds em 1883. Em seus estudos teóricos, em demonstrações e experiências práticas de laboratório, ele demonstrou a existência de três tipos de escoamento, o laminar, o transitório, e o regime turbulento. A corrente laminar ou escoamento laminar se caracteriza por um escoamento em camadas planas onde as moléculas do fluido estão aderentes umas às outras, fluindo de maneira organizada onde podemos afirmar; escoamento tranquilo, e em camadas paralelas. Na corrente turbulenta, ou regime turbulento, o escoamento ou a vazão é vista com oscilações das moléculas em torno de seu próprio eixo, o que caracteriza uma mistura intensa do líquido em si próprio onde às camadas planas não mais existem. O movimento das partículas ou moléculas é desordenado e suas trajetórias são sem forma definida e complicada de se analisar. Depois da conclusão de seu

trabalho de pesquisa, Reynolds nomeou seu número absoluto como sendo o número de Reynolds, o qual constitui hoje a base do comportamento de sistemas reais do escoamento, sendo o mesmo empregado nos estudos dos fluidos em geral e, também em modelos reduzidos como na dinâmica de asas de avião, automóveis, edificações, etc. A mudança de regime no escoamento ocorre a uma velocidade chamada crítica, diretamente proporcional a viscosidade e inversamente proporcional ao diâmetro do tubo. Experimentalmente, Reynolds demonstrou que o número crítico de Reynolds é igual a 2300. Todavia, se Reynolds for maior que Reynolds crítico, a corrente ou o regime de escoamento é turbulento. Sendo Reynolds menor que Reynolds crítico, a corrente é sempre laminar. A partir do número de Reynolds 2300 até ao número 3000, notou-se certa tendência ou variação do regime, significando desagregação ou cisalhamento entre as moléculas do fluido. A partir do momento que se injeta mais energia de velocidade ao fluido, mais moléculas se rompem de sua adesão molecular até que todas elas entram em seu movimento rotacional desordenado, caracterizando assim, o escoamento turbulento propriamente dito. O valor do número de Reynolds para essa nova situação de fluxo seria Re ≥ 3000. Na prática atual de trabalho com o fluido água a 22 graus, dizemos que Re, a partir de 0 até 3000, o regime é laminar. De 3000 até 4000 o regime é transitório, ou seja, ainda existirão moléculas fluindo aderente entre si, não cisalhadas em sua totalidade pela energia de velocidade do sistema. A partir de 4000 até o valor infinito, o regime passa a ser turbulento.

5. DIMENSÕES DO TOBOÁGUA

O projeto escolhido está representado na figura 3, todas as medidas foram arbitrárias.



Figura 3 - Representação do toboágua utilizado no Solid Edge®.

As dimensões utilizadas para o toboágua foram de:

Diâmetro interno: 1,0 m Espessura do tubo: 0,014 m Espessura do semicírculo: 0,021 m Raio helicoidal: 1,5 m Passo: 2,78 m Altura do toboágua: 2,5m Ao final do toboágua foi adicionada uma pequena seção semicircular de 1 metro de comprimento e espessura de 0,021 m. O eixo de sustentação foi considerado como sendo de 2,5 m e nele cinco hastes de sustentação circulares foram engastadas, uma vez que serão responsáveis por sustentar o toboágua. Suas extremidades estão a uma distância de 1,5 m do centro do eixo de sustentação.

Para facilitar a obtenção dos esforços que agem sobre o brinquedo, o toboágua foi considerado como sendo uma viga reta apoiada. Primeiramente aos esforços, é necessário calcular o comprimento total do toboágua, assim como os esforços nele aplicados. Neste trabalho, foram considerados apenas os esforços relativos ao peso do próprio toboágua e o peso da água que está sobre ele, e estes foram distribuídos uniformemente sobre a estrutura como uma carga contínua.

Durante todos os cálculos as tensões cisalhantes foram desprezadas por serem muito pequenas quando comparadas com as tensões devido ao esforço normal e à flexão.

5.1. Obtenção do comprimento total do toboágua

Como não foi feita uma revolução completa até o fim do toboágua, calcula-se o altura de uma rotação completa, através da equação:

$$h = \frac{h_{toboágua}}{n_{rotações}}$$
(3)
$$h = \frac{2.5}{0.9} = \frac{\frac{25}{9}m}{volta}$$

Com as dimensões do projeto, o comprimento de uma rotação foi calculado através da equação:

$$L_{rot} = \sqrt{h_{rot}^{2} + (2\pi r_{hel})^{2}}$$
(4)
$$L_{rot} = \sqrt{\left(\frac{25}{9}\right)^{2} + (2\pi * 1.5)^{2}} = \frac{4.19m}{volta}$$

Como foi utilizado 0,9 voltas na forma helicoidal, temos que o comprimento total será:

$$L = 0.9 * L_{rot} + L_{plano} = 0.9 * 4.19 + 1 = 4.77m$$

6. CARREGAMENTOS EMPREGADOS NA ESTRUTURA METÁLICA

6.1. Cálculo do carregamento devido ao peso do tubo de fibra

Para este cálculo, consideramos o tubo de fibra como linear, com um raio interno $r_i = 0,5 m$, uma espessura e = 14 mm e uma massa específica $\rho_{fibra} = 2600 kg/m^3$ (AMITECH, 2001), portanto temos que:

$$P_{tubo} = m_{tubo} \cdot g$$

$$P_{tubo} = \rho_{fibra} * V_{tubo} * g$$

$$P_{tubo} = \rho_{fibra} * A_{tubo} * L_{tubo} * g$$

$$q_{tubo} = \rho_{fibra} * A_{tubo} * g$$
(5)

Calculando a área da secção transversal do tubo:

$$A_{tubo} = \pi (r_e^2 - r_i^2)$$
(6)

$$A_{tubo} = \pi [(r_i + e)^2 - r_i^2]$$

$$A_{tubo} = \pi [(0.5 + 0.014)^2 - (0.5)^2]$$

$$A_{tubo} = 0.04459 m^2$$

Logo,

$$q_{tubo} = \rho_{fibra} * A_{tubo} * g$$

$$q_{tubo} = (2600) * (0.04459) * (9.81)$$

$$q_{tubo} = 1137,2 N/m$$
(7)

6.2. Cálculo do carregamento devido ao peso do semicírculo de fibra

Para este cálculo, consideramos o tubo de fibra como linear, com um raio interno $r_i = 0,5 m$, uma espessura e' = 0,021mm e uma massa específica $\rho_{fibra} = 2600 kg/m^3$ (AMITECH, 2001), portanto temos que:

$$P_{semicirculo} = m_{semicirculo} \cdot g$$

 $P_{semicirculo} =
ho_{fibra} * V_{semicirculo} * g$

 $P_{semicirculo} = \rho_{fibra} * A_{semicirculo} * L_{semicirculo} * g$

$$q_{semicirculo} =
ho_{fibra} * A_{semicirculo} * g$$

Calculando a área da secção transversal do semicírculo:

$$A_{semicirculo} = \frac{\pi}{2} * (r_e^2 - r_i^2)$$
$$A_{semicirculo} = \frac{\pi}{2} * [(r_i + e')^2 - r_i^2]$$
$$A_{semicirculo} = \frac{\pi}{2} * [(0.5 + 0.021)^2 - (0.5)^2]$$
$$A_{semicirculo} = 0,03367 m^2$$

Logo:

$$q_{semicirculo} = \rho_{fibra} * A_{semicirculo} * g$$
$$q_{semicirculo} = (2600) * (0,03367) * (9.81)$$
$$q_{semicirculo} = 859,02 N/m$$

6.3. Cálculo do carregamento devido ao peso da água

Para este cálculo consideramos novamente o tubo de fibra como linear, com um raio interno $r_i = 0.5 m$, uma espessura e = 14 mm e uma massa específica $\rho_{fibra} = 2600 kg/m^3$, portanto temos que:

$$P_{m a gua} = m_{m a gua} \cdot g$$

 $P_{m a gua} =
ho_{m a gua} * V_{m a gua} * g$
 $P_{m a gua} =
ho_{m a gua} * A_{m a gua} * L_{m a gua} * g$
 $q_{m a gua} =
ho_{m a gua} * A_{m a gua} * g$

Calculando a área da secção transversal do perfil de água, onde a profundidade máxima do perfil de água é h' = 0.03 m, $\theta = 0.69631 rad$ e $sen\theta = 0.64139$, temos:

$$A_{\acute{a}gua} = \frac{r_i^2}{2} * (\theta - sen\theta)$$
$$A_{\acute{a}gua} = 0,006861 m^2$$

Portanto, com $\rho_{água} = 999 \ kg/m^3$ e $g = 9.81 \ m^2/_S$, logo:

 $q_{\pm gua} = (999) * (0.006861) * (9.81)$

$$q_{\acute{a}gua} = 67,239 \ N/m$$

7. ESFORÇOS SOBRE A ESTRUTURA DE SUSTENTAÇÃO

Considera-se todo o toboágua como uma viga reta, sem curvaturas, com a respectiva área transversal da calha, como descreve a figura 4. As reações de apoio sobre o toboágua são devidas à estrutura de sustentação, sendo estas, portanto, os esforços que serão considerados para o cálculo estrutural. A carga total sobre o toboágua equivale a carga devido ao seu próprio peso e à carga devido a água sobre o trecho.



Figura 4 - Carga sobre o toboágua.

Primeiramente, calculam-se as reações de apoio sem a carga extra de uma pessoa sobre o toboágua. Para tanto, divide-se a viga em 4 vigas distintas, somando-se as reações para o mesmo apoio. Este método é utilizado para simplificar o cálculo e oferece o resultado com boa aproximação da realidade.

Analisando o trecho 0-2:



Figura 5 - Trecho 0-2.

Realizando o somatório de momentos em torno do ponto 2, ilustrado na figura 5, temos:

$$\sum M^2 = 0$$
(8)
$$q_1 * \frac{1,508^2}{2} - R_1 * 0,754 = 0$$

$$R_1 = 1917N$$

Realizando o somatório de forças na direção z:

$$\sum F_z = R_1 + R_2' - q_1 * 1,508 = 0$$
$$R_2' = 0N$$

Analisando o trecho 2-3, temos, como está sendo mostrado na figura 6 abaixo:



Figura 6 - Trecho 2-3.

$$\sum M^{3} = q_{1} * \frac{0,754^{2}}{2} - R_{2}" * 0,754 = 0$$

$$R_{2}" = 479,28N$$

$$\sum M^{2} = q_{1} * \frac{0,754^{2}}{2} - R_{3}' * 0,754 = 0$$

$$R_{3}' = 479,28N$$

O mesmo procedimento para determinar R_3 " e R_4 ' no trecho 3-4, obtendo-se:

$$R_3'' = 479,28N, \qquad R_4' = 479,28N$$

Analisando agora o trecho 4-6, na figura 7:



Figura 7 - Trecho 4-6.

$$\sum M^4 = q_1 * \frac{0.754^2}{2} + q_2 * 1 * 1.254 - R_5 * 0.754 = 0$$
$$R_5 = 2056N$$

$$\sum M^5 = q_1 * \frac{0.754^2}{2} - q_2 * 1 * 0.5 - R_4'' * 0.754 = 0$$
$$R_4'' = -149N$$

Somando -se todas as reações que são aplicadas nos mesmos apoios, tem-se:

$$R_1 = 1917N$$
, $R_2 = 479,28N$, $R_3 = 958,56N$, $R_4 = 330,28N$, $R_5 = 2056N$

Analisando as reações acima, percebe-se que a maior força de apoio aconteceu em 5, logo esse será o ponto de maior força de apoio.

Agora considera-se que um usuário do brinquedo (representado pela força P), que tenha 120kg, está sobre o toboágua. Como as reações de apoio variam de acordo com a posição do usuário ao deslizar sobre o brinquedo, cada apoio terá uma reação máxima de acordo com esta posição. Deve-se obter a máxima reação para cada apoio.

A carga P devido ao usuário é dado como:

$$P = 120 * 9,81 = 1177,2 N$$

O máximo esforço de apoio ocorrerá quando o usuário estiver sobre a extremidade final do toboágua, o que causará o máximo momento fletor, assim sendo, temos que, de acordo com a figura 8:



Figura 8 - Trecho 4-6 com usuário.

$$\sum M^4 = q_1 * \frac{0.754^2}{2} + q_2 * 1 * 1.254 - R_5 * 0.754 + P * 1.754 = 0$$

$$R_5 = 4795N$$

$$\sum M^5 = q_1 * \frac{0.754^2}{2} - q_2 * 1 * 0.5 - R_4" * 0.754 + P * 1 = 0$$

$$R_4" = -1711N$$

Assim tem-se a condição crítica a qual o material estará submetido. Substituindo as novas forças R5 e R4" com as forças restantes que foram obtidas anteriormente, obtém-se a situação de projeto do eixo da estrutura de sustentação.

$$R_1 = 1917N$$

 $R_2 = 479,28N$
 $R_3 = 958,56N$
 $R_4 = -1231N$
 $R_5 = 4795N$

8. CÁLCULO DOS ESFORÇOS SOBRE O TOBOÁGUA

Com as reações nos apoios, o momento máximo que age sobre o toboágua ocorre no apoio 5 e é obtido por:

$$\sum M^{(5)} = 0$$

-1711 * 0,754 + $\frac{1271,3 * 0,754^2}{2} + M_{max} = 0$
 $M_{max} = 1651 N.m$

Como consideramos uma redução de área da seção transversal no seguimento final do toboágua, a seção crítica se dará na menor área.

Obtendo o centroide da seção semicircular do tubo de fibra:

$$\bar{y} = \bar{y}_2 - \bar{y}_1$$

$$\bar{y} = \frac{\left[\left(\frac{4r_e}{3\pi} * \pi r_e^2\right) - \left(\frac{4r_i}{3\pi} * \pi r_i^2\right)\right]}{\pi r_e^2 - \pi r_i^2}$$

$$\bar{y} = \frac{\left[\left(\frac{4(0.5+0.021)}{3\pi} * \pi (0.5+0.021)^2\right) - \left(\frac{4(0.5)}{3\pi} * \pi (0.5)^2\right)\right]}{\pi (0.5+0.021)^2 - \pi (0.5)^2}$$

$$\bar{y} = 0.325 \text{ m}$$
(9)

Cálculo do momento de inércia da seção semicircular do tubo de fibra em relação ao seu centroide:

(10

$$I = I_{G} + Ad^{2}$$

$$I_{1} = \left(\frac{1}{8}\pi r_{i}^{4}\right) + \pi r_{i}^{2} \left(\frac{4r_{i}}{3\pi} - \bar{y}\right)^{2}$$

$$I_{2} = \left(\frac{1}{8}\pi r_{e}^{4}\right) + \pi r_{i}^{2} \left(\frac{4r_{e}}{3\pi} - \bar{y}\right)^{2}$$

$$I = I_{2} - I_{1}$$

$$I = 0.03740 - 0.03453$$

$$I = 2.87 * 10^{-3} m^4$$

8.1. Análise das tensões sobre o toboágua

Através de pesquisas, resolvemos adotar a fibra de vidro- resina GY 279, que tem como tensão de escoamento $\sigma_e = 184,35 MPa$ (CAPELLA, 2012).

Sabemos o momento máximo que age sobre o toboágua e o momento de inércia, logo a tensão de flexão máxima pode ser obtida, basta:

$$\sigma_{max} = \frac{M_{max} * \bar{y}}{I} \tag{11}$$

$$\sigma_{max} = \frac{1651 * 0.325}{2.87 * 10^{-3}} = 186,959 \, \text{KPa}$$

Como $\sigma_{max} < \sigma_e$, o toboágua suporta o carregamento.
9. DIMENSIONAMENTO DO EIXO DE SUSTENTAÇÃO

Em posse das reações de apoio que atuam sobre a estrutura, podemos estimar a dimensão do eixo principal. Foi escolhido como material de fabricação o aço estrutural A-36, que possui um módulo de elasticidade (E) de 200 GPa e uma tensão de escoamento (σ_e) de 250MPa.

9.1. Cálculo da reação de apoio

Sabendo o valor do esforço que cada haste faz sobre o eixo de sustentação, para calcular a reação de apoio do eixo, fazemos:

$$\sum F_{y} = 0$$

$$R_{t} = R_{1} + R_{2} + R_{3} + R_{4} + R_{5}$$

$$R_{t} = 6918,02 N$$

9.2. Cálculo dos momentos aplicados

Sabendo que a distância de aplicação da carga P em cada haste até o centro do eixo de sustentação é 1,5 m, podemos calcular o momento causado por cada haste na estrutura principal.

$$M_{1} = R_{1} * 1,5 = 1917 * 1,5 = 2875,5 N.m$$

$$M_{2} = R_{2} * 1,5 = 479,28 * 1,5 = 718,92 N.m$$

$$M_{3} = R_{3} * 1,5 = 958,56 * 1,5 = 1437,84 N.m$$

$$M_{4} = R_{4} * 1,5 = 1231,82 * 1,5 = -1847,73 N.m$$

$$M_{5} = R_{5} * 1,5 = 4795 * 1,5 = 7192,5 N.m$$

Como o eixo principal está na posição vertical e nele estão engastadas cinco hastes defasadas uma da outra, é necessário decompor os momentos gerados em componentes x e y e somá-los segundo suas direções e módulos. Sendo assim, já que o toboágua realiza 0,9 rotações, temos que o ângulo entre as hastes é de:

$$\phi = \frac{360 * 0.9}{4} = 81^{\circ}$$

Considera-se que a haste 5, a mais próxima do chão, está sob o eixo x. Assim temos que as componentes dos momentos são:

$$\begin{split} M_{T_x} &= -(M_5 * \sin 0^\circ + M_4 * \sin \phi + M_3 * \sin 2\phi + M_2 * \sin 3\phi + M_1 * \sin 4\phi) \\ M_{T_x} &= -3481,09 \ N. \ m \\ \\ M_{T_y} &= -(M_5 * \cos 0^\circ + M_4 * \cos \phi + M_3 * \cos 2\phi + M_2 * \cos 3\phi + M_1 * \cos 4\phi) \\ M_{T_y} &= 8114,02 \ N. \ m \end{split}$$

Logo, o módulo do momento fletor total que atua sobre o eixo principal é dado por:

$$M_T = \sqrt{M_{T_x}^2 + M_{T_y}^2}$$
(12)

 $M_t = 8829,21 N.m$

9.3. Dimensionamento através da tensão normal de flexão

Como o raio de giração do eixo vertical é desconhecido, $\frac{k*h}{r}$ é desconhecido e, portanto, temos que verificar se a equação abaixo é aplicável. Admitindo $\sigma_{eaço} = 250 MPa$ (Aço A-36) e k = 2 (uma extremidade engastada e outra livre) para o dimensionamento inicial do eixo, fazemos:

$$\lambda = \frac{k * h}{r} \tag{13}$$

$$\sigma_{adm} = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{k*h}{r_{eixo}}\right)^2}{2*\lambda_c^2}\right] * \sigma_e}{\frac{5}{3} + \left[\frac{3}{8} * \frac{\left(\frac{k*h}{r_{eixo}}\right)}{\lambda_c}\right] - \left[\frac{\left(\frac{k*h}{r_{eixo}}\right)^3}{8*\lambda_c^3}\right]}{\sigma_{adm}}$$
(14)
$$\sigma_{adm} = \frac{R_t}{\pi * r_{eixo}^2}$$

Onde, λ_c é o índice de esbeltez crítico do eixo vertical, sendo assim, temos:

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_e}} \tag{15}$$

Logo, determinamos:

 $r_{eixo} = 80 \ mm$

 $\lambda_c = 125,7$

Sabendo que:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \tag{16}$$

$$r = +\sqrt{\frac{r_{eixo}^2}{4} = \frac{r_{eixo}}{2}} = 40 mm$$

Daí, temos o seguinte índice de esbeltez:

$$\lambda = \frac{k * h}{\frac{r_{eixo}}{2}} = \frac{2 * 2500}{40} = 125$$

Como $\lambda = 125 < \lambda_c$, a utilização da equação de tensão admissível acima é adequada.

8.4. Análise do efeito da flambagem

A tensão admissível de flambagem é dada por:

$$\sigma_{admflam} = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{k*h}{r_{eixo}}\right)^2}{2*\lambda_c^2}\right] * \sigma_e}{\frac{5}{3} + \left[\frac{3}{8} * \frac{\left(\frac{k*h}{r_{eixo}}\right)}{\lambda_c}\right] - \left[\frac{\left(\frac{k*h}{r_{eixo}}\right)^3}{8*\lambda_c^3}\right]}{\frac{1}{2*125,7^2}} + 250.10^6}$$
$$\sigma_{admflam} = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{2*2,5}{0,08}\right)^2}{2*125,7^2}\right] * 250.10^6}{\frac{5}{3} + \left[\frac{3}{8} * \frac{\left(\frac{2*2,5}{0,08}\right)}{125,7}\right] - \left[\frac{\left(\frac{2*2,5}{0,08}\right)^3}{8*125,7^3}\right]}{\frac{1}{3}}$$

 $\sigma_{admflam} = 136 MPa$

Admitindo $\sigma_{admflex} = 150 MPa$ (tensão admissível de flexão), temos:

$$\frac{\frac{R_t}{\pi r_{eixo}^2}}{\sigma_{admflam}} + \frac{\frac{M_T * r_{eixo}}{\frac{\pi}{4} r_{eixo}^4}}{\sigma_{admflex}} < 1$$
(17)

Substituindo os valores, obtemos 0,149<1, logo o projeto atende os critérios de segurança e suporta a carga a ela atribuída.

10. DIMENSIONAMENTO DAS HASTES

Como a força R está aplicada na extremidade da viga engastada, sabe-se que o momento fletor máximo estará sendo aplicado no engaste. O comprimento da haste é o raio helicoidal subtraído do raio do eixo principal. Assim:

$$M_{h_{max}} = R_{apoio} * L_{haste}$$

Analisando o trecho 0-2, figura 9, tem-se que o maior esforço em 1 será quando o usuário estiver na extremidade 0, causando o maior momento fletor sobre esta parte da estrutura.



Figura 9 - Trecho 0-2 com usuário.

$$\sum M^2 = q_1 * \frac{1,508^2}{2} + R_1 * 0,754 + P * 0,754 = 0$$
$$R_1 = 3220,7N$$

Analisando o trecho 2-3 e o trecho 3-4, observa-se que a maior reação de apoio será quando o usuário estiver sobre os locais de apoio, onde todo seu peso soma-se à reação de apoio calculada anteriormente.

$$R_{2} = 479,28 + 1177,2 = 1656,5 N$$
$$R_{3} = 958,56 + 1177,2 = 2135,4 N$$
$$R_{4} = 330,28 + 1177,2 = 1507,5 N$$
$$R_{5} = 4795 N$$

A máxima reação de apoio em 5 foi calculada anteriormente para o primeiro dimensionamento do eixo principal de sustentação.

A partir destas reações, é possível obter o máximo momento fletor em cada haste. Segue a representação da força exercida pelo toboágua na haste na figura 10.



Figura 10 - Haste de sustentação com carregamento.

Em posse do momento fletor máximo e desconsiderando os esforços cortantes, por serem muito pequenos em relação ao esforço provocado pelo momento fletor,temos que:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{h_{max}} * r_{haste}}{I}$$

Como o momento de inércia para uma seção circular é de $I = \pi r^4/4$:

$$\sigma_{adm} = \frac{M_{h_{max}} * 4}{\pi r_{haste}^3}$$

Através das reações dos apoios nas hastes e considerando uma tensão admissível de 150 MPa, a dimensão de cada haste é calculada:

Haste 1:

Sabe-se que o máximo momento fletor será no engaste. Assim:

$$M_1 = R_1 * 1,448 = 3220,7 * 1,448 = 4663 N.m$$

Sabe-se que,

$$\sigma_{adm} = \frac{M_1 * r_{haste1}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste1}^4} = \frac{4663 * r_{haste1}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste1}^4}$$
$$r_{haste1} = 35 \ mm$$

Haste 2:

$$M_2 = R_2 * 1,448 = 1656,5 * 1,448 = 2398,52 N.m$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_2 * r_{haste2}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste2}^4} = \frac{2398,2 * r_{haste2}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste2}^4}$$
$$r_{haste2} = 28 mm$$

Haste 3:

$$M_3 = R_3 * 1,448 = 2135,4 * 1,448 = 3091,95 N.m$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_3 * r_{haste3}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste3}^4} = \frac{3091,95 * r_{haste3}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste3}^4}$$
$$r_{haste3} = 30 \ mm$$

Haste 4:

$$M_4 = R_4 * 1,448 = 1507,48 * 1,448 = 2182,7 N.m$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_4 * r_{haste4}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste4}^4} = \frac{2182.7 * r_{haste4}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste4}^4}$$

$$r_{haste4} = 27 mm$$

Haste 5:

$$M_5 = R_5 * 1,448 = 4795 * 1,448 = 6951,8 N.m$$

$$\sigma_{adm} = \frac{M_5 * r_{haste5}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste5}^4} = \frac{6951,8 * r_{haste5}}{\frac{\pi}{4} * r_{haste5}^4}$$

 $r_{haste5} = 39 mm$

11. CÁLCULO DAS DEFLEXÕES NA ESTRUTURA

11.1. Deflexão nas hastes de sustentação

A deflexão máxima em cada haste será calculada para o caso crítico de uma pessoa na extremidade do toboágua, como ilustra a figura 11. Logo:



Figura 11 - Análise de deflexão da haste.

$$\sum M = M + P * x = 0$$
$$M = -P * x$$

Utilizando o Teorema de Castigliano e sabendo que a deflexão máxima nas hastes ocorre na extremidade temos:

$$\delta = \int_{0}^{L} M\left(\frac{\partial M}{\partial P}\right) \frac{dx}{EI} = \int_{0}^{L} (-Px)(-x) \frac{dx}{EI} = \frac{PL^{3}}{3EI}$$
(18)

Haste 1:

$$r_{haste1} = 35 mm$$

$$I = \frac{\pi * r_{haste1}^{4}}{4} = 1,17859 * 10^{-6}m^{4}$$

$$\delta_{1} = \frac{R_{1}L^{3}}{3EI} = \frac{(1917)(1,448)^{3}}{3 * (2 * 10^{11})(1,17859 * 10^{-6})}$$

$$\delta_{1} = 8,23 mm$$

Haste 2:

 $r_{haste2} = 28mm$

$$I = \frac{\pi * r_{haste2}^{4}}{4} = 0,4827496 * 10^{-6}m^{4}$$
$$\delta_{2} = \frac{R_{2}L^{3}}{3EI} = \frac{(479,28)(1,448)^{3}}{3 * (2 * 10^{11})(0,4827496 * 10^{-6})}$$
$$\delta_{2} = 5,02 \ mm$$

Haste 3:

$$r_{haste3} = 30mm$$

$$I = \frac{\pi * r_{haste3}^{4}}{4} = 0,6361725 * 10^{-6}m^{4}$$
$$\delta_{3} = \frac{R_{3}L^{3}}{3EI} = \frac{(958,56)(1,448)^{3}}{3 * (2 * 10^{11})(0,6361725 * 10^{-6})}$$
$$\delta_{3} = 7,62 \ mm$$

Haste 4:

$$r_{haste4} = 27mm$$

$$I = \frac{\pi * r_{haste4}^{4}}{4} = 0,41739278 * 10^{-6}m^{4}$$

$$\delta_{4} = \frac{R_{4}L^{3}}{3EI} = \frac{(-1231)(1,448)^{3}}{3 * (2 * 10^{11})(0,41739278 * 10^{-6})}$$

$$\delta_{4} = -14,92 mm$$

Haste 5:

$$r_{haste5} = 39mm$$

$$I = \frac{\pi * r_{haste5}^{4}}{4} = 1,8169723 * 10^{-6}m^{4}$$
$$\delta_{5} = \frac{R_{5}L^{3}}{3EI} = \frac{(4795)(1,448)^{3}}{3 * (2 * 10^{11})(1,8169723 * 10^{-6})}$$
$$\delta_{5} = 13,35 \ mm$$

11.2. Deflexão no eixo principal

10.2.1 Componentes dos momentos

$$M_1 = 2875,5 Nm$$

onde
$$M_{1x} = M_1 sen 324^\circ = -1640 Nm e M_{1y} = M_1 cos 324^\circ = 2326 Nm$$

 $M_2 = 718,92 Nm$

onde $M_{2x} = M_2 sen 243^\circ = -640,6 Nm e M_{2y} = M_2 cos 243^\circ = -326,4 Nm$

 $M_3 = 1437,84 Nm$

onde $M_{3x} = M_3 sen 162^\circ = 444 Nm e M_{3y} = M_3 cos 162^\circ = -1367,5 Nm$

 $M_4 = 1847,73 \; Nm$

onde $M_{4x} = M_4 sen 81^\circ = 1825 Nm e M_{4y} = M_4 cos 81^\circ = 289 Nm$

 $M_5 = 7192,5 Nm$

onde $M_{5x} = M_5 sen0^\circ = 0 Nm \ e \ M_{5y} = M_5 cos0^\circ = 7192,5 Nm$

11.2.1. Deflexão devido aos momentos em y



Figura 12 - Momentos na direção y aplicados sobre o eixo principal.



Figura 13 - Diagrama de momento fletor na direção y sem a aplicação da força P.

Pelo princípio dos trabalhos virtuais, aplica-se uma força P = 1N na extremidade do eixo e analisa-se a deformação na posição de aplicação desta carga, temos:

$$\frac{1}{2} * 1 * \delta_x = \int_0^{0,285} \frac{0 * (-Pz)}{2EI} dz + \int_{0,285}^{0,8405} \frac{2326 * (-Pz)}{2EI} dz + \int_{0,8405}^{1,405} \frac{1999,6 * (-Pz)}{2EI} dz + \int_{1,9645}^{1,9645} \frac{632,1 * (-Pz)}{2EI} dz + \int_{1,9645}^{2,539} \frac{921,1 * (-Pz)}{2EI} dz + \int_{2,539}^{2,6} \frac{8113,6 * (-Pz)}{2EI} dz$$

Logo,

$$\delta_x = \frac{1}{EI} (-727,13 - 1267,3 - 595,83 - 1191,56 - 1271,72)$$

$$\delta_x = \frac{1}{EI} (-5053,54)$$

Sabendo que $E = 200 \ GPa \ e \ I = \frac{\pi}{4} * r^4 \ com \ r = 0,05205 \ m$, temos que:

 $\delta_x = -4,38 mm$

O sinal negativo indica que a deformação ocorreu no sentido contrário ao de aplicação da força P. Uma análise no programa Ftool foi utilizada para validar os resultados obtidos, podendo ser vista na figura 14, mostrando que os cálculos estavam corretos.



Figura 14 - Deformação em x obtida com o uso do programa Ftool.



11.2.2. Deflexão devido aos momentos em x.

Figura 15 - Momentos na direção x aplicados sobre o eixo principal.



Figura 16 - Diagrama de momento fletor na direção x sem a aplicação da força P.

Pelo princípio dos trabalhos virtuais, aplica-se uma força P = 1N na extremidade do eixo e analisa-se a deformação na posição de aplicação desta carga, temos:

$$\frac{1}{2} * 1 * \delta_y = \int_0^{0.285} \frac{0 * (-Pz)}{2EI} dz + \int_{0.285}^{0.8405} \frac{(-1640) * (-Pz)}{2EI} dz$$
$$+ \int_{0.8405}^{1.405} \frac{(-2330,6) * (-Pz)}{2EI} dz + \int_{1.405}^{1.9645} \frac{(-1886,5) * (-Pz)}{2EI} dz$$
$$+ \int_{1.9645}^{2.6} \frac{(-61,6) * (-Pz)}{2EI} dz$$

Logo,

$$\delta_y = \frac{1}{EI} \left\{ +528,3 + 1477,1 + 1706,3 + 89,34 \right\} = \frac{3801,06}{200 * 10^9 * \left(\frac{\pi}{4}\right) * 0,05205^4}$$

 $\delta_y = 3,30 \ mm$

O sinal positivo indica que a deformação ocorreu no sentido de aplicação da força P. Uma análise no programa Ftool foi utilizada para validar os resultados obtidos, podendo ser vista na figura 17, mostrando que os cálculos estavam corretos.



Figura 17 - Deformação em y obtida com o uso do programa Ftool.

11.2.3. Deflexão devido ao esforço normal no eixo



Figura 18 - Esforços axiais aplicados sobre o eixo principal.



Figura 19 - Diagrama de esforço axial sobre o eixo principal.

Acrescenta-se um esforço axial P na extremidade do eixo (Figura 15), logo pelo teorema de Castigliano, temos:

$$Ui = \int_{0}^{0.285} \frac{(-P)^2 dz}{2EA} + \int_{0.285}^{0.8405} \frac{(-1917 - P)^2 dz}{2EA} + \int_{0.8405}^{1.405} \frac{(-2396,28 - P)^2 dz}{2EA} + \int_{0.8405}^{1.9645} \frac{(-3354,8 - P)^2 dz}{2EA} + \int_{1.9645}^{2.539} \frac{(-2123 - P)^2 dz}{2EA} + \int_{2.539}^{2.6} \frac{(-6918,84 - P)^2 dz}{2EA}$$

$$\frac{\partial Ui}{\partial P} = \int_{0}^{0,285} \frac{(-P) * (-1)dz}{EA} + \int_{0,285}^{0,8405} \frac{(-1917 - P) * (-1)dz}{EA}$$
$$+ \int_{0,8405}^{1,405} \frac{(-2396,28 - P) * (-1)dz}{EA} + \int_{1,405}^{1,9645} \frac{(-3354,8 - P) * (-1)dz}{EA}$$
$$+ \int_{1,945}^{2,539} \frac{(-2123 - P) * (-1)dz}{EA} + \int_{2,539}^{2,6} \frac{(-6918,84 - P) * (-1)dz}{EA}$$

Para P = 0, temos:

$$\delta_z = \frac{\partial U}{\partial P} = \frac{1}{EA} \{ 1064,9 + 1352,7 + 1877 + 1219,66 + 422 \}$$
$$\delta_z = \frac{5936,26}{200 * 10^9 * \pi * 0,05205^2}$$
$$\delta_z = 0,00349 \ mm$$

O sinal positivo indica que a deformação ocorreu no sentido de aplicação da força P. Uma análise no programa Ftool foi utilizada para validar os resultados obtidos, podendo ser vista na figura 20, mostrando que os cálculos estavam corretos.



Figura 20 - Deformação em z obtida com o uso do programa Ftool.

12. ANÁLISE DE IMPACTO

Considera-se para esta análise, uma pessoa de 120 kg que pulou a uma altura de 0,5m na entrada do tobogã. O esquema do problema pode ser visto na figura 21:



Figura 21 - Análise de impacto sobre o toboágua.

Chamamos a carga que será aplicada pelo impacto de P, temos:

$$\sum M^{1} = R_{2} * 0,754 + P * 0,754 = 0$$
$$R_{2} = -P$$
$$\sum M^{2} = -R_{1} * 0,754 + P * 1,508 = 0$$
$$R_{1} = 2P$$

Cálculo do momento ao longo da barra pela referência x_1 :

$$M_1 = (-P) * x_1 \quad para \quad 0 \le x_1 < 0.754$$

Cálculo do momento ao longo da barra pela referência x_2 :

$$M_2 = R_2 * x_2 = (-P) * x_2$$
 para $0 \le x_2 < 0.754$

Cálculo da energia de deformação (U_i) :

$$U_{i} = \int_{0}^{x_{1}} \frac{(M_{1})^{2}}{2EI} dx + \int_{0}^{x_{2}} \frac{(M_{2})^{2}}{2EI} dx$$
$$U_{i} = \int_{0}^{0,756} \frac{(-Px)^{2}}{2EI} dx + \int_{0}^{0,756} \frac{(-Px)^{2}}{2EI} dx = 2 * \int_{0}^{0,756} \frac{(-Px)^{2}}{2EI} dx$$
$$U_{i} = \frac{1}{EI} * \left[P^{2} * (0,756)^{03}\right] = \frac{0,143 * P^{2}}{EI}$$

Sabemos também que:

$$U_i = \frac{1}{2} * P * \delta = \frac{0.143 * P^2}{EI}$$
$$\delta = \frac{0.286 * P}{EI}$$

Utilizando o princípio de conservação de energia, temos:

$$E_{pot} = U_i$$

$$m * g * (h + \delta) = \frac{0.143 * P^2}{EI}$$

$$(120) * (9.81) * \left\{ (0.5) + \left[\frac{0.286 * P}{(80 * 10^9)(1.31 * 10^{-13})} \right] \right\} = \frac{0.143 * P^2}{(80 * 10^9)(1.31 * 10^{-13})}$$

$$1.36 * 10^{-9}P^2 = 588.6 + 3.21 * 10^{-6} * P$$

$$P = 659 \ KN$$

Recalculando os esforços em R_1 e R_2 após a aplicação da carga P, assim temos:

$$R_1' = 1318 \ KN$$

 $R_2' = -659 \ KN$

Calculando os esforços finais:

$$R_1 = 1318000 + 1917 = 1319917 \text{ KN}; R_2 = -659000 + 479,28 = -658520 \text{ KN}$$

$$R_1 = 1319917N$$
, $R_2 = -658520N$, $R_3 = 958,56N$, $R_4 = 330,28N$,

$$R_5 = 2056N$$

Cálculo dos esforços no eixo principal:

$$\sum F_{y} = 0$$

$$R_{t} = R_{1} + R_{2} + R_{3} + R_{4} + R_{5}$$

$$R_{t} = 664741.8 N$$

Cálculo dos momentos no eixo, onde $\emptyset = 81^{\circ}$:

$$M_{T_x} = 1,5 * (R_5 * \sin 0^\circ + R_4 * \sin \phi + R_3 * \sin 2\phi + R_2 * \sin 3\phi + R_1 * \sin 4\phi)$$
$$M_{T_x} = -282690 N.m$$

 $M_{T_y} = 1,5 * (R_5 * \cos 0^\circ + R_4 * \cos \emptyset + R_3 * \cos 2\emptyset + R_2 * \cos 3\emptyset + R_1 * \cos 4\emptyset)$

$$M_{T_y} = 2051990 N.m$$
$$M_T = \sqrt{M_{T_x}^2 + M_{T_y}^2}$$
$$M_T = 2071000 N.m$$

Dimensionamento da coluna para uma $\sigma_{admflex}=150~{\it MPa}$, logo:

$$\sigma_{admflex} = \frac{M_T * r_{eixo}}{\frac{\pi}{4} * r_{eixo}^4}$$
$$r_{eixo} = 0,260015 m$$

Utilizaremos para os cálculos um raio $r_{eixo} = 0,27 m$.

Analisa-se agora se o eixo suportará a flambagem:

$$\lambda = \frac{k * h}{r} = 2 * \frac{2,5}{0,27} = 38,52$$

Como λ < 200, o sistema até o momento está adequado.

$$\lambda_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{\sigma_e}} = 125,7$$
$$\frac{\lambda}{\lambda_c} = 0,306$$

Calculo da tensão admissível ($\sigma_{admflam}$):

$$FS = \frac{5}{3} + \frac{3}{8} * \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right) - \frac{1}{8} * \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^3 = 1,78$$
$$\sigma_{admflam} = \frac{\sigma_e}{FS} * \left[1 - \frac{1}{2} * \left(\frac{\lambda}{\lambda_c}\right)^2\right] = 133,85 MPa$$

Verificação se o dimensionamento está correto:

$$\frac{\frac{R_t}{\pi r_{eixo}^2}}{\sigma_{admflam}} + \frac{\frac{M_T * r_{eixo}}{\pi}}{\sigma_{admflex}} < 1$$

Substituindo os valores, obtemos 0,91<1, logo o projeto atende os critérios de segurança e suporta a carga a ela atribuída.

13. DIMENSIONAMENTO DA LIGAÇÃO DA ESTRUTURA

Adotando uma ligação rígida a partir de uma placa de base e chumbadores para fixação no piso, este cálculo foi feito com base nas prescrições da norma ABNT NBR 8800.

A ligação do eixo principal de aço à fundação de concreto é constituída de uma placa de base circular soldada ao perfil de aço e parafusada no bloco de fundação por meio de barras redondas rosqueadas (chumbadores) como pode ser visto na figura 22. Para facilitar a montagem e o nivelamento da estrutura, colocou-se argamassa expansiva de assentamento entre a face inferior da placa de base e a superfície de concreto, conforme se pode ver na figura a abaixo (CONSTRUMETAL, 4.,2010, São Paulo).



Figura 22 - Argamassa expansiva de assentamento e placa de base circular (FREITAS, 2010)

Considera-se que a solda de ligação do pilar à placa de base tenha sido devidamente dimensionada conforme os critérios do texto-base ou da ABNT NBR 8800:2008, onde aplicáveis. Assim sendo, não será aqui considerado o estado-limite último relativo à ruptura dessa solda.

Conforme Freitas (2010), para garantir que os estados-limites últimos relacionados a ruptura por tração do chumbador, arrancamento do chumbador, esmagamento do concreto ou argamassa expansiva de assentamento no contato com a placa de base e deslizamento da ligação não tenham sido violados os componentes devem ser dimensionados conforme algumas exigências:

- t_p ≥ t_{p,min}, onde t_p é a espessura da placa de base e t_{p,min} deve ser obtido das expressões adiante;
- Para casos onde há grandes excentricidade, d_b ≥ d_{b,min}, onde d_bé o diâmetro externo do chumbador e d_{b,min} deve ser obtido;

Para utilização de quatro a oito chumbadores do tipo barra redonda rosqueada de aço ASTM A-36 ou de resistência equivalente, juntamente com placa de base, deve-se adotar estas exigências e disposições construtivas:

- *f_{ck,min}*, é o menor valor de *f_{ck}* para não ocorrer esmagamento do concreto na região da porca de ancoragem dos chumbadores;
- A resistência característica à compressão da argamassa de assentamento deve ser pelo menos 50% superior à resistência característica do concreto do bloco;
- As arruelas não precisam ser soldadas à placa de base, exceto quando necessário para transmitir a força cortante aos chumbadores;
- Deve-se respeitar o dimensionamento do bloco conforme a ABNT NBR 6118:2007, porém respeitando-se as seguintes dimensões mínimas:
- N_b, que é o comprimento do bloco de concreto, deve ser o maior valor entre l_d + 2e_n
 e l_d + 2(a₃ a₁)
- B_b , que é a largura do bloco de concreto, deve ser igual a N_b , quando a placa de base for circular;
- A_b , que é o altura do bloco de concreto, deve ser o maior valor entre $h_1 + 100 mm$ e N_b .



Figura 23 – Desenho esquemático do bloco de sustentação (PIMENTA, R. J. et al., 2010).

Seguindo exigências e disposições construtivas ,que podem ser observadas na figura 23 acima, e checando a utilização de 6 chumbadores de 38 mm de diâmetro, PIMENTA, et al. (2010) indica as seguintes dimensões mínimas para o projeto:

<i>a</i> ₁	80 mm	$f_{ck,min}$	25 MPa	
<i>a</i> ₂	160 mm	Espessura da arruela	9,5 mm	
<i>a</i> ₃	230 mm	Dimensões da arruela	90 x 90	
h_1	610 mm	S	150 mm	
h_2	250 mm	φ	16 mm	
en	70 mm			

Tabela 1 - Tabela de dimensões mínimas para a ligação, segundo PIMENTA, et al. (2010).

Como:

 d_b é o diâmetro externo do chumbador e é igual a 38 mm ;

 n_b é o número dos chumbadores e é igual a 6;

 l_b é o comprimento dos chumbadores e deve ser 12 vezes o diâmetro do mesmo.

$$l_b = 12 * d_b$$
 (20)
 $l_b = 12 * d_b = 12 * 25$
 $l_b = 300 mm$

Temos, como o diâmetro da placa de base:

$$l_d = d + 4 * a_1 \tag{21}$$

Sendo que, conforme figura 21 e figura 22:

 a_1 é a distância entre o centro do eixo do chumbador e borda da placa de base;

d é o diâmetro do eixo;

Temos:

$$l_d = 270 + 4 * 80$$

 $l_d = 590 mm$

Calculando dimensões da base de concreto conforme exigências da ABNT NBR 6118:2007 e recomendações de dimensões mínimas, temos:

$$N_{b,1} = l_d + 2 * (a_3 - a_1)$$
(22)

$$N_{b,1} = 590 + 2 * (230 - 80)$$

$$N_{b,1} = 890 mm$$

$$N_{b,2} = l_d + 2e_n$$

$$N_{b,2} = 590 + 2 * 70$$

$$N_{b,2} = 730 mm$$

De acordo exigências de projeto:

$$N_b = 890 \, mm$$

Como trata-se de uma placa de base circular:

 $N_b = B_b = 890 mm$ $A_{b,1} = h_1 + 100 mm$ $A_{b,1} = 710 mm$ $A_{b,2} = N_b = 890 mm$

De acordo exigências de projeto:

$$A_{b} = 890 \ mm$$

Calculando a efetividade da ligação em suportar os esforços sobre ela, temos:

Com base em avaliações teóricas apresentas em normas, literaturas brasileiras (Possato, 2004 e Freitas ,2008) e internacionais (Fisher e Kloiber, 2006, e John T. DeWolf, 2003) deve-se avaliar se há situação de pequena ou grande excentricidade na ligação.

$$e = \frac{M_{sd}}{N_{sd}} \tag{24}$$

No qual, M_{sd} é o momento fletor total na fixação e N_{sd} será o força de compressão exercida sobre a placa de base, ou seja, o peso da estrutura. Como $\rho_{aço} = 7850 \frac{kg}{m^3}$, calcula-se o peso de cada haste e do eixo principal.

$$P = \rho_{aco} * A * L * g \tag{25}$$

 $P_{haste1} = 7850 * \pi * 0,035^2 * 1,448 * 9,81 = 429,13 N$

$$P_{haste2} = 274,65 N$$

$$P_{haste3} = 315,28 N$$

 $P_{haste4} = 255,38 N$
 $P_{haste5} = 532,83 N$
 $P_{eixo} = 6384,47 N$

Assim:

$$N_{sd} = 429,13 + 274,65 + 315,28 + 255,38 + 532,83 + 6384,47$$

$$N_{sd} = 8,19 \ kN$$

Com $M_T = 207100 \ kNcm$, a excentricidade será:

$$e = \frac{207100}{8,19}$$

 $e = 25281,58$

Nota-se que pela grande diferença entre o momento fletor total e o peso da estrutura haverá uma grande excentricidade. Porém, segundo Pimenta (2010), para considerar grande excentricidade:

$$e > \frac{1}{2} \left(l_x - \frac{N_{sd}}{\sigma_{c,Rd} l_y} \right) \tag{26}$$

Nos quais:

$$l_x = l_y = 0.9 * l_d$$
(27)

$$l_x = l_y = 531 \, mm$$

$$\sigma_{c,Rd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c \gamma_n} \sqrt{\frac{A_2}{A_1}} \le f_{ck}$$
(28)

Onde:

 $\sigma_{c,Rd}$ é a tensão resistente de cálculo à pressão;

 f_{ck} é resistência à compressão característica do concreto;

 γ_n é o coeficiente de comportamento do concreto, igual a 1,40;

 γ_c é o coeficiente de ponderação da resistências;

 A_1 é a área carregada sob a placa de apoio;

 A_2 é a área da superfície de concreto.

Como:

$$A_1 = \frac{\pi * l_d^2}{4}$$
(29)

$$A_2 = (N_b - 2 * e_n)^2 \tag{30}$$

Temos:

$$A_1 = 273397,1 mm^2$$

 $A_2 = 562500 mm^2$

Adotando $f_{ck} = 30 MPa$ e tendo $\gamma_c = 1,40$, conforme NBR 8800, temos que:

$$\sigma_{c,Rd} = 21,955 \, N/mm^2$$

Com isso, avalia-se que a excentricidade:

$$e > \frac{1}{2} \left(590 - \frac{8190}{21,955 * 590} \right)$$
$$e > 265,15$$

Havendo grande excentricidade é necessário considerar forças de tração nos chumbadores, para se manter o equilíbrio. A figura 24 ilustra bem a distribuição de esforços na ligação.



Figura 24 - Distribuição de esforços na ligação (PIMENTA et al., 2010).

Onde:

 l_c é o comprimento do trecho da placa sujeito à pressão de contato de concreto;

 $F_{t,Sd}$ é a força de tração nos chumbadores.

Para cálculo do diâmetro mínimo do chumbadores e espessura mínima da placa de base deve-se calcular l_c e $F_{t,Sd}$.

Calculando l_c :

$$l_{c} = \left(\frac{l_{x}}{2} + a\right) - \sqrt{\left(\frac{l_{x}}{2} + a\right)^{2} - \frac{2 * N_{sd} * (e + a)}{\sigma_{c,Rd} l_{y}}}$$
(31)

No qual:

a é distância da linha do círculo formado pelo chumbadores.

$$a = \frac{d}{2} + a_1$$
$$a = 215 mm$$

Assim:

$$F_{t,Sd} = \frac{2 * (\sigma_{c,Rd} l_c l_y - N_{sd})}{n_{b,eq}}$$
(32)

No qual:

 $n_{b,eq}$ é número equivalente de chumbadores

$$n_{b,eq} = 2 * [1 + 2 * (1 - k)^2]$$
(33)

$$k = \frac{\alpha}{2} \left[1 - \cos\left(\frac{2\pi}{n_b}\right) \right] \tag{34}$$

$$\alpha = 1,0$$
, para $l_c \le 2 * a_1;$
 $\alpha = \frac{d+2a_1}{d+3a_1-0.5l_c}$, para $l_c > 2 * a_1.$

Como 38,86 < 160:

$$\alpha = 1,0$$

 $k = 0,25$
 $n_{b,eq} = 4,25$

Assim, força de tração nos chumbadores será:

$$F_{t,Sd} = 209317,20 N$$

Calculando o diâmetro mínimo dos chumbadores, temos:

$$d_{b,min} = \sqrt{\frac{4 * F_{t,Sd}}{\pi(\frac{f_{ub}}{\gamma_{a2}})}}$$
(35)

Nos quais:

d_{b,min} é diâmetro mínimo dos chumbadores;

 f_{ub} é a resistência à ruptura do material do chumbador;

 γ_{a2} é o coeficiente de ponderação das resistências, igual 1,35, conforme tabela 3 da NBR 8800.

Adotando f_{ub} como 400 Mpa, conforme NBR 8800 chumbadores de aço A36:

$$d_{b,min} = 29,99 mm$$

Com isso, pode-se concluir a viabilidade da utilização do chumbador de 38 mm de diâmetro.

Calculando espessura mínima da placa de base:

$$t_{p,min1} = l_{max} * \sqrt{\frac{2 * \sigma_{c,Rd}}{(\frac{f_y}{\gamma_{a1}})}}$$
(36)

 l_{max} será o maior valor entre m e n se $l_c \ge m$ ou será o maior valor entre p e n se $l_c < m$.

m = n = 157,5 mm

Para uma placa de base circular, temos:

$$m = n = \frac{0.9l_d - 0.8d}{2} \tag{37}$$

$$p = \sqrt{l_c * (m - l_c)}$$

$$p = 103,59 mm$$
(38)

Como $l_c < m e p < m$, $l_{max} = m = 157,5 mm$.

Sendo:

 f_y a resistência ao escoamento do aço A-36, que é igual a 250 MPa;

 γ_{a1} o coeficiente de ponderação da resistências, igual a 1,1 , conforme tabela 3 da NBR 8800.

$$t_{p,min1} = 58,51 mm$$

$$t_{p,min2} = \sqrt{\frac{2 * n_{b,eq} F_{t,Sd}(m - l_c)}{l_y(\frac{f_y}{\gamma_{a1}})}}$$
(39)

$$t_{p,min2} = 28,57 mm$$

Considerando que devemos utilizar uma espessura que supere $t_{p,min1}$ e $t_{p,min2}$, utilizaremos então um placa de base de $t_p = 60 mm$, atendendo a ambas condições de projeto.

Como pode se observar na tabela 3, os resultados obtidos atendem às exigências de projeto mencionadas posteriormente e ainda dão uma margem a possíveis desvios em relação aos esforços obtidos de acordo com funcionamento do toboágua. Pode se observar a ligação da estrutura representada no Solid Edge na figura 25.

Com isso as dimensões da ligação rígida serão:

Tabela 2 - Dimensões finais da ligação

<i>n_b-</i> Número de chumbadores	6	<i>t_p</i> - Espessura da placa de base	60 mm
d_b - Diâmetro dos	38 mm	A_b - Altura do bloco	890 mm
chumbadores		de concreto	
<i>l_b</i> - Comprimento	456 mm	<i>B_b</i> - Largura do	890 mm
dos chumbadores		bloco de concreto	
<i>l_d</i> - Diâmetro da placa de base	590 mm	N _b - Comprimento do bloco de concreto	890 mm



Figura 25 - Ligação da estrutura ao bloco de concreto

14. DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA HIDRÁULICO DO TOBOÁGUA

14.1. Determinação da velocidade média de descida do usuário no toboágua

Para determinar a velocidade média de descida do usuário, é necessário fazer a seguinte razão:

$$v_m = \frac{L}{t} \tag{40}$$

Em que L é o comprimento do toboágua em metros e t o tempo de descida do usuário em segundos.

Como o comprimento do toboágua é L = 4,77 m, foi necessário fazer uma estimativa para se chegar ao tempo t de descida. Definiu-se um tempo razoável de 6 segundos em função da altura do brinquedo. Sendo assim, temos que:

$$v_m = \frac{4,77}{6} = 0,795 \ m/s$$

14.2. Determinação da vazão de água no toboágua

A partir da área do filme de água $(A_{água})$ calculada no início deste trabalho e com a velocidade média (v_m) calculada anteriormente, podemos calcular a vazão de água no toboágua.

$$Q = A_{\dot{a}gua} * v_m$$
(41)
$$Q = (0,006861) * (0,795) = 0,005455 m^3/s$$

$$Q = 19,63741 \, m^3/h$$

14.3. Determinação do diâmetro de recalque e de sucção

A norma ABNT (NBR-5626) recomenda para funcionamento intermitente ou contínuo.

$$D_r = 1.3 * \sqrt[4]{\frac{T}{24}} * \sqrt{Q}$$
 (42)

Onde D_r é o diâmetro de recalque, T o período ou número de horas de funcionamento da bomba por dia e Q a vazão em metros cúbicos por segundo.

Para $Q = 0,0005455 m^3/s e T = 8 h$, temos:

$$D_r = 1.3 * \sqrt[4]{\frac{8}{24}} * \sqrt{0.005455}$$

$$D_r = 0,072955 \ m \cong 73 \ mm$$

Como o valor encontrado pela expressão da norma ABNT (NBR-5626) apresentado acima não coincidiu com um valor de diâmetro comercial, o diâmetro de recalque (D_r) deverá ser um diâmetro comercial inferior ou superior ao calculado. Definimos então $D_r = 63 mm = 0,063 m$. Portanto, devemos submetê-lo ao cálculo da velocidade econômica para comprovação, em que a velocidade econômica (v) fica entre 0,5 e 4,0 metros por segundo (m/s).

$$v = \frac{4 * Q}{\pi * D_r^2}$$
(43)
$$v = \frac{4 * 0,005455}{\pi * 0,063^2}$$
$$v = 1,7499 m/s$$

Como $0.5 m/s \le v \le 4 m/s$, o valor do diâmetro de recalque (D_r) pode ser utilizado.

Já o diâmetro de sucção (D_s), a norma ABNT (NBR-5626) estabelece que seja imediatamente superior ao diâmetro de recalque (D_r) calculado anteriormente em metros. Definimos $D_s = 75 mm = 0,075 m$.

14.4. Determinação da altura manométrica de elevação

Com o comprimento das tubulações de recalque, sucção e o número de peças especiais, bem como o valor dos diâmetros calculados anteriormente, podemos determinar a perda de carga nas tubulações.

A altura manométrica total (H_{man}) está associada ao desnível verificado entre a tomada e chegada de água, acrescido de todas as perdas de cargas por atrito que ocorrem nas peças (perda de carga localizada) e tubulações (perda de carga distribuída).

A perda de carga localizada pode ser determinada através do método de comprimentos equivalentes, das respectivas peças.

Os comprimentos equivalentes em questão deverão ser adicionados ao comprimento real da tubulação para a realização da perda de carga distribuída, provocada pelo atrito entre o fluido e a rugosidade da tubulação.

As perdas de carga podem ser desmembradas em perdas na sucção e recalque.

13.4.1. Altura manométrica no recalque $(H_{man,r})$

$$Re_r = \frac{4 * Q}{\pi * D_r * \nu} \tag{44}$$

Sendo Re_r o número de Reynolds no recalque, adimensional e ν a viscosidade da água em dada temperatura. Como $Q = 0,005455 m^3/s$, $D_r = 63 mm = 0,063 m$ e $\nu = 1,007 * 10^{-6} m^2/s$.

Logo;

$$Re_r = \frac{4*0,005455}{\pi*0,063*1,007*10^{-6}}$$

$$Re_r = \frac{4 * 0,005455}{\pi * 0,063 * 1,007 * 10^{-6}} \cong 1,1 * 10^5$$

Com o número de Reynolds determinado, calcularemos agora o fator de atrito no recalque.

$$f_r = 0.0055 * \left[1 + \sqrt[3]{2000 * \frac{\varepsilon}{D_r} + \frac{10^6}{Re_r}}\right]$$
(45)

Onde f_r é o fator de atrito no recalque, adimensional, ϵ é a rugosidade absoluta em milímetros (mm).

Na tabela abaixo, temos os materiais com suas respectivas rugosidades absolutas.

Tipo de material	(ă) - (mm)		
Ferro fundido novo	0, 26 - 1		
Ferro fundido enferrujado	1 - 1, 5		
Ferro fundido incrustado	1, 5 - 3		
Ferro fundido asfaltado	0, 12 - 0, 26		
Aço laminado novo	0,0015		
Aço comercial	0,046		
Aço rebitado	0,092 - 9,2		
Aço asfaltado	0,04		
Aço galvanizado	0, 15		
Aço soldado liso	0, 1		
Aço muito corroido	2,0		
Aço rebitado, com cabeças cortadas.	0, 3		
Cobre ou vidro	0,0015		
Concreto centrifugado	0,07		
Cimento alisado	0, 3 - 0, 8		
Cimento bruto	1 - 3		
Madeira aplainada	0, 2 - 0, 9		
Madeira não aplainada	1, 0 - 2, 5		
Alvenaria de pedra bruta	8 - 15		
Tijolo	05		
Plástico (PVC)	0, 01 - 0, 06		
Alvenaria de pedra regular	01		

Tabela 3 – Tabela de rugosidades absolutas

Definimos $\epsilon = 0,03 \text{ }mm$. Então:

$$f_r = 0,0055 * \left[1 + \sqrt[3]{2000 * \frac{0,03}{63} + \frac{10^6}{1,1 * 10^5}}\right]$$
$$f_r = 0,01736$$

Faremos agora o cálculo da perda de carga unitária no recalque (J_r) em m/m.

$$J_r = 8 * f_r * \frac{Q^2}{\pi^2 * g * D_r^5}$$

$$J_r = 8 * 0.01736 * \frac{0.005455^2}{\pi^2 * 9.81 * 0.063^5}$$
(46)

$J_r = 0,04302 \ m/m$

Tipo de Peca	Diâmetros comerciais (mm)									
	50	63	75	100	125	150	200	250	300	350
Curva 90	0,6	0,8	1,0	1,3	1,6	1,9	2,4	3,0	3,6	4,4
Curva 45	0,4	0,5	0,6	0,7	0,9	1,1	1,5	1,8	2,2	2,5
Entr. normal	0,7	0,9	1,1	1,6	2,0	2,5	3,5	4,5	5,5	6,2
Entr. borda	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11,0
Reg. gav. ab.	0,4	0,4	0,5	0,7	0,9	1,1	1,4	1,7	2,1	2,4
Reg. gl. ab	17,0	21,0	26,0	34,0	43,0	51,0	67,0	85,0	102	120
Tê pass. direita	1,1	1,3	1,6	2,1	2,7	3,4	4,3	5,5	6,1	7,3
Tê saída de lado	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0
Tê saída bilater	3,5	4,3	5,2	6,7	8,4	10,0	13,0	16,0	19,0	22,0
Válv. pé/cr.	14,0	17,0	20,0	23,0	30,0	39,0	52,0	65,0	78,0	90,0
Saída de canal	1,5	1,9	2,2	3,2	4,0	5,0	6,0	7,5	9,0	11,0
Válvula retenção	4,2	5,2	6,3	8,4	10,0	13,0	16,0	20,0	24,0	28,0

Na tabela 4 estão representados os comprimentos equivalentes de cada acessório da tubulação em seus respectivos diâmetros.

Tabela 4 - Comprimentos equivalentes dos acessórios da tubulação.

A tabela 5 apresenta uma síntese dos dados, cálculos e resultados obtidos para a determinação do comprimento virtual total na tubulação de recalque.

		Comprimento
Itens	Elementos	Equivalente
		(m)
1	Curva 90°	0,8
2	Saída de canal	1,9
3	Válvula de retenção	5,2
4	Registro de gaveta	0,4
	Total	8,3

Tabela 5 – Comprimentos equivalentes na tubulação de recalque

Sabemos que:

$$Ltotal_r = L_r + Leq_r \tag{47}$$

Sendo $Ltotal_r$ o comprimento total da tubulação no recalque em metros, L_r o comprimento real da tubulação no recalque e Leq_r o comprimento equivalente nas conexões da tubulação no recalque.

Como $L_r = 5,74 m \text{ e } Leq_r = 8,3 m$, temos:

$$Ltotal_r = 5,74 + 8,3 = 17,74 m$$

Por fim, a altura manométrica é dada por:

$$H_{man.r} = H_r + J_r * Ltotal_r + \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D_r^4 * g}$$
(48)

Onde $H_{man,r}$ é a altura manométrica de recalque em metros, H_r é a altura real de recalque em metros.

$$H_{man.r} = 3,8 + 0,04302 * 12 + \frac{8 * 0,005455^2}{\pi^2 * 0,063^4 * 9,81}$$
$$H_{man.r} = 4,47 m$$

13.4.2. Altura manométrica na sucção $(H_{man.s})$

Para o cálculo da altura manométrica na sucção, repetiremos a sequência de cálculos feita anteriormente para a altura manométrica no recalque.

Como a vazão é a mesma na sucção e no recalque, temos:

$$Re_s = \frac{4 * Q}{\pi * D_s * \nu}$$

Como $Q = 0,005455 \text{ } m^3/s$, $D_s = 75 \text{ } mm = 0,75 \text{ } m \text{ } e \text{ } v = 1,007 * 10^{-6} \text{ } m^2/s$.

Logo;

$$Re_s = \frac{4 * 0,005455}{\pi * 0,075 * 1,007 * 10^{-6}} \cong 9,2 * 10^4$$
Com o número de Reynolds determinado, calcularemos agora o fator de atrito na sucção.

$$f_s = 0,0055 * [1 + \sqrt[3]{2000 * \frac{\varepsilon}{D_s} + \frac{10^6}{Re_s}}]$$

Onde f_s é o fator de atrito no recalque, adimensional, ε é a rugosidade absoluta em milímetros (mm). Como o material da tubulação é o mesmo, $\varepsilon = 0.03 mm$. Então:

$$f_s = 0,0055 * [1 + \sqrt[3]{2000 * \frac{0,03}{75} + \frac{10^6}{9,2 * 10^4}}]$$
$$f_s = 0,01797$$

Faremos agora o cálculo da perda de carga unitária na sucção em m/m.

$$J_s = 8 * f_s * \frac{Q^2}{\pi^2 * g * D_s^5}$$
$$J_s = 8 * 0,01797 * \frac{0,005455^2}{\pi^2 * 9,81 * 0,075^5}$$
$$J_s = 0,018421 \ m/m$$

A tabela 6 apresenta uma síntese dos dados, cálculos e resultados obtidos para a determinação do comprimento virtual total na tubulação de sucção.

		Comprimento
Itens	Elementos	Equivalente
		(m)
1	Entrada normal	1,1
2	Registro de gaveta	0,5
	Total	1,6

Sabemos que:

$$Ltotal_s = L_s + Leq_s$$

Sendo $Ltotal_s$ o comprimento total da tubulação na sucção em metros, L_s o comprimento real da tubulação na sucção e Leq_s o comprimento equivalente nas conexões da tubulação na sucção.

$$Ltotal_s = 1,75 + 1,6 = 3,35 m$$

Por fim, a altura manométrica na sucção é dada por:

$$H_{man.s} = H_s + J_s * Ltotal_s + \frac{8 * Q^2}{\pi^2 * D_s^4 * g}$$

Onde $H_{man.r}$ é a altura manométrica de recalque em metros, H_s é a altura real na sucção em metros.

Lembrando que a bomba está no nível da captação de água, então $H_s = 0$.

Assim,

$$H_{man.s} = 0 + 0,018421 * 3,35 + \frac{8 * 0,005455^2}{\pi^2 * 0,075^4 * 9,81}$$

 $H_{man.s} = 0,13942 m$

Por fim, a altura manométrica é dada pela soma das:

$$H_{man} = H_{man.r} + H_{man.s}$$
(49)
$$H_{man} = 4,47 + 0,1394$$

$$H_{man} \cong 4,6 m$$

14.5. Determinação da potência necessária de bombeio

A potência em WATTS de bombeio é dada por:

$$Pot = \gamma * Q * H_{man} \tag{50}$$

Onde $\gamma = 9800 \ kN/m^3$ é o peso específico da água.

Portanto, teremos:

$$P = 9800 * 0,005455 * 4,6$$

 $P \cong 246,41 W$

$$P \cong 226,41 W \cong 0,3 CV$$

Para a seleção na bomba, é necessário avaliar a vazão exigida no projeto e a altura manométrica. Olhando no catálogo das bombas Schneider, verificou-se que a bomba de 0,3 CV não fornece a vazão volumétrica necessária, sendo assim, selecionou-se o modelo BC-92 S/T 1B com potência de 1 ½ CV que atende as exigências da vazão e altura manométrica de projeto. A sequência dos passos para seleção podem ser observadas nas figuras 26, 27 e 28.

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS E HIDRÁULICAS DAS BOMBAS																				
MODELO	Potên cia (CV) Mon ofásico Trifásico CV) Mon ofásico CV) Mon ofásico CV) Mon ofásico CV) Mon ofásico CV) Mon ofásico Altura (aca) Altura de Sucção (BSP) Altura de Sucção (mca)																			
CADACTEDÍSTICAS, TÉCNICAS								2	5	8	11	14	17	20	23	26	30	34	38	
CAR	CARACTERISTICAS TECNICAS									VAZÕES EM m3/h VÁLIDAS PARA ALTURA DE SUCÇÃO DE 0 mca										
BC-92S JC	1.1/2	х	х	2	1.1/2	21	8	22,00	19,70	17,10	14,30	11,10	7,20							
BC-92S JA	1.1/2	Х	Х	2	1.1/2	35	8	*	*	*	*	*	13,70	12,30	10,90	9,20	6,40			
BC-92S JC	2	Х	Х	2	1.1/2	23	8	*	22,10	20,00	17,70	15,10	12,00	8,20						
BC-92S JA	2	Х	х	2	1.1/2	40	8	*	*	*	*	*	*	14,00	12,80	11,30	9,10	6,50		
BC-92S JC	3	X	Х	2	1.1/2	29	8	*	*	25,00	23,10	21,20	19,00	16,60	13,70	10,00				
BC-92S JA	3	Х	х	2	1.1/2	44	8	*	*	. *	. *	*	*	*	14,10	13,00	11,20	9,20	6,80	

OBS.: - Não utilizar a bomba na faixa com asteriscos. - Curvas características válidas para motores de linha (IP-21).

Outros tipos de motores, consultar alteração de potência junto à fábrica.

Figura 26 - Catálogo Schneider

SCHNEIDER MOTOBOMBAS MODEL							E	BC-92 S/	T 1B	8	710012	7	60 Hz Il polos/poles			
Sucçã	o / Succión	/ Suctio	on	11	/2"	Potência /	Potencia	/ Power [l	(W(cv)]	0,75 (1)	1,1 (1,5)	1,5 (2)	1,5 (2)	2,2 (3)	2,2 (3)	
Recald	que / Desca	arga / Di	scharge	1	**	Rotor / Imp	Rotor / Impulsor / Impeller [mm]			105	117	127	137	143	155	
	kgf/cm ²	PSI	ft	m c.a.												
	4 3,5 3	60 55 50 45	140 130 120 110	40 35 30		Rotor Rotor Ø Rotor Ø Rotor Ø Rotor	155 mm 143 mm 137 mm			3 c	v					

2 cv

.

ø Rotor 127 mm

e Rotor 117 mm

e Rotor 105 mm

Q

2,5

1,5

0,5

Ē

н

m³/h

GPM



.



Figura 28 - Gráfico de Rendimento da bomba e potência do eixo

3 cv

-2 cv

. .

1.5 cv

1 cv

1.

. . .

- ✓ Por fim, a bomba selecionada é:
- ✓ Modelo: BC-92 S/T 1B
- ✓ Potência: 1,5 CV
- ✓ Diâmetro do rotor: 117 mm
- ✓ Rendimento: 52%
- ✓ Frequência: 60 Hz

15. CONCLUSÃO

O projeto de dimensionamento da estrutura de sustentação do toboágua se mostrou satisfatório e eficiente, atendendo as exigências de uso e de segurança para o usuário.

Na execução dos cálculos tivemos o cuidado de abordar as solicitações na estrutura de modo que proporcionasse uma maior segurança, representando de uma forma real o que aconteceria na prática. A única exceção sobre essa representação mais próxima da realidade foi o cálculo do dimensionamento das hastes, pois como o carregamento sobre elas é dinâmico e em função da posição do usuário, foi considerado uma condição extrema como se o mesmo estivesse exatamente sobre todas as hastes simultaneamente. Desta forma, no ponto de vista teórico, a estrutura teria que ser mais robusta, com maiores dimensões das hastes para suportar esse carregamento extremo.

As deflexões nas hastes provaram ser relativamente grandes, em torno de 13 mm. Porém, sua deformação relativa é pequena quando comparada ao comprimento da mesma, sendo menor que 1%.

A respeito do dimensionamento da ligação a fundação de concreto, atualmente, a ABNT NBR 8800:2008 trata de forma ampla o projeto de estruturas de aço e mistas de concreto e aço. Porém não contempla com precisão muitas particularidades do comportamento das estrutura com outros perfis, como exemplo o próprio perfil adotado neste projeto. Portanto, é necessário o desenvolvimento de normas específicas para alguns perfis, assim como em diversos países.

No dimensionamento hidráulico, verificou-se que a bomba de 1 ½ CV especificada atende bem as exigências do projeto, ficando para o futuro, um estudo mais completo no que tange à especificação de um motor elétrico para acionamento da bomba hidráulica, bem como uma análise dos custos de operação e de projeto.

16. TRABALHOS FUTUROS

Pôde-se verificar a necessidade de projetos futuros para um estudo mais detalhado a respeito do impacto e, além disso, realização do cálculo dos esforços sobre o toboágua considerando-o como sendo uma única viga com todos os seus apoios. Assim, diante disso, aumentando a precisão dos esforços sobre a estrutura de sustentação ao invés de dividi-lo em diversas vigas menores bi apoiadas. Além de uma análise baseada nos custos gerais de projeto e um estudo mais completo no que tange à especificação de um motor elétrico para acionamento da bomba hidráulica.

Sugere-se detalhar o procedimento de solda da placa de base na ligação da estrutura, já que no trabalho simplesmente foram consideradas os procedimentos de soldas da norma NBR 8800. Outra abordagem, que deve ser feita em qualquer projeto e principalmente para o projeto em questão, por estar localizado em um ambiente agressivo, é o detalhamento dos métodos e procedimentos de proteção contra corrosão.

Para a ligação da estrutura ao bloco de concreto, sugere-se fazer uma nova análise no dimensionamento destes componentes se uma norma para projeto de ligação de estruturas metálicas para perfil em questão for criada.

17. REFERÊNCIAS

AMITECH.TubosdePRFV.Disponívelem:<http://site.sabesp.com.br/uploads/file/audiencis_inova%C3%A7%C3%A3o/Tubos%</td>20de%20PRFV_Amitech_Edra_Petrofisa%2001.pdf>, acesso em junho de 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 8800. Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. ABNT, Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.NBR 6118. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. ABNT, Rio de Janeiro, 2007.

CAPELLA, M. C. et al. **Propriedades mecânicas em laminados fibras de vidro e fibra de carbono em resina epóxi.** 20º CBECIMAT, Joinville, 2012.

COELHO, Roberto Araújo. Sistemas complementares para edifícios em estruturas metálicas". Fupam/FAU-USP, 2001.

DEWOLF, J.T., RICKER, D. T. Column Base Plates. AISC Design Guide Series I, Chicago, IL. 1990.

FISHER, J. M.; KLAIBER, L. A.. Base Plate and anchor rod design. Steel Design Guide 1, 2a edição. American Institute of Steel Construction, Chicago, 2006.

FREITAS, A. M. S. et al. Ligações metálicas com perfis tubulares – comportamento e prescrições de projeto. São Paulo: 2010. Disponível em: http://www.construmetal.com.br/2010/downloads/contribuicoes-tecnicas/13-ligacoes-metalicas-com-perfis-tubulares.pdf>. Acesso em: 01/06/2016.

FREITAS, A. M. S. REQUENA, J. A. V. Ligações em Estruturas Metálicas **Tubulares**. In: Moacir Kripka, Zacarias M. Chamberlain. (Org.). Novos estudos e pesquisa em construção metálica. 1 ed. Passo Fundo - RS - Brasil: EDITORA UNIVERSITÁRIA, v. 1, p. 07-29, 2008.

POSSATO, G.S.N. Análise teórico-experimental de placas de base de colunas metálicas tubulares. Ouro Preto: 2004.

LEMOINE, Bertrand. Aço, um material que não prejudica o meio ambiente para odesenvolvimentosustentável.Disponívelem:<</th>http://www.cbcaibs.org.br/nsite/site/meio_ambiente.asp>. Acesso em: 09/06/2016.

FUNCREWUSA. **A Look Back at the History of Water Slides.** Disponível em: http://www.funcrewusa.com/resources/history-of-water-slides/>. Acesso em: 09/06/2016.

18. ANEXOS



Figura 29 - Vistas cotadas da estrutura metálica e ligação rígida no bloco de concreto.



Figura 30 - Vista superior do tubo helicoidal do toboágua.



Figura 31 - Vistas do sistema hidráulico do toboágua.

Todas as dimensões estão em milímetros.