

## DIMENSIONAMENTO ECONÔMICO DE RESERVATÓRIO APOIADO, CIRCULAR, EM ESTRUTURA METÁLICA

### ECONOMIC DIMENSIONING OF CIRCULAR TANK SUPPORTED IN METAL STRUCTURE

PASUCH, Douglas D'Orazio<sup>1</sup>

LIVEIRA, Marcos da Silva<sup>2</sup>

BONELLI, Thiago Scremen<sup>3</sup>

JUNIOR, Adilson Corte Souza<sup>4</sup>

Recebido: dez. 2020; Aceito: 08 mar. 2021.

**Resumo:** O presente artigo tem por objetivo apresentar as etapas para o dimensionamento econômico de reservatório apoiado, em formato circular e fabricado em estrutura metálica. As características dos reservatórios, assim como suas finalidades e detalhes de projeto foram apresentados pelas literaturas, ressaltando que o objeto deste estudo tem por funcionalidade o armazenamento de água para o uso diverso. A metodologia adotada, a fim de dimensionar as espessuras necessárias para atender as cargas hidrostáticas, esforços do vento, peso próprio da estrutura e excentricidade foram inseridas e formuladas na ferramenta Excel, amplamente utilizada nas diversas áreas da engenharia, adotando para esta, um formato prático e explicativo na montagem e detalhamento das informações. Através da inserção das características definidas pelo projetista e dos cálculos pré-definidos na planilha, obtém-se as dimensões e espessuras mínimas necessárias para o uso em projeto, de acordo com as cargas atuantes. A planilha disponibilizará por fim um relatório com as características e dimensões para atender o projeto considerando o fator econômico, além de apresentar os valores relevantes para memória de cálculo. O projetista deve atentar-se ainda as condições desoldagem e preparação da superfície além das demais estruturas que se farão presentes, mas que não tem função estrutural. A ausência de uma Norma Técnica específica para este tipo de reservatório faz com que outras normas sejam adotadas para o uso, o que pode não sanar as reais condições e necessidades do projeto.

**Palavras-chave:** Dimensionamento econômico. Reservatório apoiado. Estrutura metálica. Espessuras necessárias.

**Abstract:** This paper aims to present the stages for the economical dimensioning of a supported tank, in a circular shape and manufactured in metallic structure. The tank's features, as well as their uses and design details were presented by the literature, emphasizing that the object of this study aims to store water for various uses. The adopted methodology, in order to scale the thicknesses necessary to meet the hydrostatic loads, wind efforts, structure own weight and eccentricity were inserted and formulated in the Excel tool, widely used in the various engineering areas, adopting for this study a practical and explaining format for the data's assembly and detailing. Through inserting

<sup>1</sup> Estudante do curso Bacharelado em Engenharia Civil pela Faculdade de Direito de Alta Floresta (FADAF).

<sup>2</sup> Docente no curso de Engenharia Civil pela Faculdade de Direito de Alta Floresta (FADAF) e Responsável Técnico no Departamento de Engenharia da Prefeitura de Carlinda. E-mail: [grauedifica@hotmail.com](mailto:grauedifica@hotmail.com)

<sup>3</sup> Licenciado em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso (2010), Mestre em Física pela Universidade Federal de Mato Grosso (2013) e Doutor em Ciências na área de Engenharia Elétrica pela Universidade de São Paulo (2017).

<sup>4</sup> Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Pelotas – UFPEL (2017), Especialista em MBA em Gestão de Projetos pela Universidade Anhanguera – UNIDERP (2018).

the features defined by the designer and predefined calculations in the spreadsheet, the minimum dimensions and thicknesses required for the project use were obtained, according to the acting loads. Finally, the spreadsheet will provide a report with the features and dimensions suitable for the project considering the economic factor, as well as presenting the relevant values for calculation memory. The designer should also pay attention to the welding condition and preparation of the surface besides the other structures that will be present, but which has no structural function. The absence of a specific Technical Regulation for this type of tank causes other regulations to be adopted for use, which may not fulfill the actual conditions and needs of the project.

**Keywords:** Economic dimensioning. Supported tank. Metal structure. Required thicknesses.

## 1 INTRODUÇÃO

Os reservatórios estão presentes no cotidiano das pessoas, possibilitando seu uso para diferentes funcionalidades. As variadas formas geométricas construtivas adotadas, multiplicidades de materiais utilizados na fabricação, variação volumétrica, dentre outros fatores, demonstram a diversidade de métodos disponíveis, ressaltando sua importância para quando tem por finalidade a reserva e abastecimento de água potável.

Independentemente do tipo de edificação, a água é imprescindível para a manutenção do espaço e consumo dos usuários, sendo que a NBR 5626, apresenta conforme a finalidade da edificação, a necessidade de um volume a ser garantido para suprir a demanda de consumo.

Outra condição, a fim de garantir a segurança dos usuários de edificações, é apresentada na NBR 13.714, ou de acordo com o definido pelas normas de Estado do Corpo de Bombeiros, sendo garantida a reserva técnica de incêndio (RTI), de modo a ser necessária a implantação de reservatórios com propriedades que atendam as condições definidas.

Os reservatórios em estrutura metálica possuem características que tornam atrativa sua utilização quando comparado a outros materiais. E o fundo apoiado superficialmente sobre o solo possibilita o melhor aproveitamento do interior do reservatório e uma melhor estabilidade a estrutura. A forma circular parte da condição econômica, devido a melhor distribuição dos esforços, possibilitando uma menor espessura de vedação e consequentemente menor custo de execução.

A ausência de uma norma específica para auxiliar no dimensionamento de reservatórios, e também de autores que tratem sobre o tema, origina uma preocupação quanto a este tipo de estrutura, podendo o reservatório deixar de ser uma estrutura de suporte e passar a ser um problema devido ao mau dimensionamento. A NBR 7821 é utilizada por projetistas para auxiliar no dimensionamento deste tipo de reservatório, porém esta define condições que são questionáveis devido a sua finalidade ser para dimensionamento de reservatório para armazenamento de petróleo e derivados.

Desta forma, este estudo tem por objetivo a elaboração de uma planilha prática para o dimensionamento econômico de reservatório apoiado no solo, produzido em estrutura metálica no formato circular.

A utilização do software Excel auxiliou na automatização dos cálculos e sequência lógica de apresentação dos resultados.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 IMPORTÂNCIA DO ESTUDO DE RESERVATÓRIO

A construção de reservatórios ocorreu devido a necessidade de se possuir acesso fácil a água, eliminando as variações espaciais e temporais. A concepção e idealização de reservatórios serve para que regiões com acesso limitado de água, busquem alternativas para armazenar e fornecer água a uma população em expansão (OKI; KANAE, 2006). Os reservatórios são uma parte essencial para a sociedade e sua relevância continuará a aumentar à medida que a população e as economias aumentarem. Mais de 30% da população mundial vive em regiões com longos períodos de escassez de água (WALTER, 2018).

A construção de reservatórios de água doce contribui para o fornecimento de serviços essenciais à população para uso doméstico e industrial (GLEICK, 2003). A preocupação com a segurança da água continua a crescer à medida que as demandas de água da crescente população mundial continuam aumentando. A disponibilidade de água já é uma ameaça real para aproximadamente 2,4 bilhões de pessoas que vivem em áreas com dificuldade de acesso a esta (OKI; KANAE, 2006).

### 2.2 CLASSIFICAÇÃO DE RESERVATÓRIOS

Reservatórios fazem parte do sistema de adução e de distribuição de água dos sistemas urbanos, ou para sistemas industriais e residenciais (PEREIRA, 2010). Vários materiais são utilizados na construção de reservatórios e sua seleção depende da capacidade de armazenamento, facilidade de instalação, rapidez da sua colocação e entrada em funcionamento, tipo de reservatórios já existentes, custo do fornecimento e manutenção e tempo de vida útil. Sendo classificados como enterrados, semienterrados, apoiados no solo e elevados (JARDIM, 2017).

Segundo Pereira (2007) existem os seguintes tipos de materiais para construção de reservatórios:

- Concreto armado;
- Concreto armado e protendido;
- Elementos em concreto armado pré-fabricado com pré-esforço;
- Material compósito - resina termo-endurecível reforçada com fibras de vidro;
- Polietileno de média densidade;
- Fibra de vidro;
- Aço;
- Em chapas pré-moldadas e chapas de aço vitrificado ligadas por cordão de solda.

A classificação quanto sua capacidade varia de pequenos com uma capacidade inferior a 500m<sup>3</sup>, médio variando de 500m<sup>3</sup> a 5.000m<sup>3</sup> e grandes com capacidade de armazenamento superior a 5.000m<sup>3</sup> (JARDIM, 2017).

Atualmente vem ocorrendo a substituição de reservatórios de concreto por reservatórios metálicos para armazenamento de água potável. Muito disso ocorre devido a facilidade e versatilidade em seu processo de fabricação e instalação, além de possuir uma vida útil maior (GOMES, 2017).

## 2.3 ESTRUTURA METÁLICA

Conforme a sua composição química os aços utilizados em estruturas são classificados em dois grupos, aços-carbono e aços de baixa liga, dependendo de sua aplicação podem receber tratamento térmicos, desta forma modificando suas propriedades mecânicas (SILVA, 2012).

### 2.3.1 Aço Carbono

São os tipos de aço mais utilizados devidas suas propriedades, a sua composição é de 0,2% de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), 1,65% de Manganês, 0,6% de silício e 0,35% de Cobre (Cu). A classificação de baixo, médio ou alto carbono ocorre em função da variação de sua concentração. Com uma quantidade inferior a 0,29% é definido como baixo carbono, variando de 0,30% a 0,59% médio carbono e de 0,6% a 2,0% alto carbono (PFEILL, 2009).

Quanto maior o teor de carbono maior será a resistência do aço, mas diminui a capacidade de se deformar, isso causa problemas para a soldagem. Os aço-carbono no Brasil seguem o padrão da ABNT, da *American Society for Testing and Materials* (ASTM) e norma Europeia EM (Tabela 1).

Tabela 1 - Propriedade mecânicas de aço-carbono

Especificação	Teor de carbono %	Limite de escoamento $f_y$ (MPa)	Resistência à ruptura $f_u$ (MPa)
ABNT MR250	baixo	250	400
ASTM A7		240	370-500
ASTM A36	0,25-0,29	250	400-500
ASTM A307	baixo	-	415
ASTM A325	médio	365	825
EN S235	baixo	235	360

Fonte: Pfeill (2009).

### 2.3.2 Aço de Baixa Liga

Os aços de baixa liga, são aço-carbono acrescido de elemento de liga, como cromo, colúmbio, cobre, manganês, molibdênio, níquel, fósforo, vanádio e zircônio, eles servem para melhorar as propriedades mecânicas. Os elementos de liga produzem o aumento na resistência do aço devido a modificação da microestrutura de grãos finos. Com o aumento da resistência eleva o teor de carbono a 0,2%, possibilitando a soldagem dos aços (PFEILL, 2009). Como os aço-carbono os aço de baixa liga segue os padrões da ABNT, ASMT e EM (Tabela 2).

Tabela 2 - Propriedades mecânicas de aço de baixa liga

Especificação	Principais elementos	Limite de escoamento $f_y$ (MPa)	Resistência à ruptura $f_u$ (MPa)
ASMT 572 Gr. 50	C<0,23% Mn<1,35%	345	450
ASMT A588	C<0,17% Mn<1,2% < Cu<0,5%	345	485
ASMT A992	C<0,23% Mn<1,5%	345	450

Fonte: Pfeill (2009).

## 2.4 PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Para que possam receber acabamento e pintura as chapas metálicas devem ser submetidas a alguns processos de jateamento abrasivo ao metal branco com granulha de aço ou óxido de alumínio (GOMES, 2017). Esse procedimento visa atingir o padrão Sa3 para as superfícies em contato com água e Sa2 ½ para as superfícies sem contato direto com a água. Métodos que se diferenciam deste descrito não garantem a eficiência e homogeneidade desta aplicação (SABESP, 2001). No quadro 1 de acordo com a SABESP estão descritas as equivalências entre diferentes normas sobre o padrão de acabamento das superfícies a serem pintadas.

Quadro 1- Preparo de superfícies metálicas para pintura

Método de preparo de superfície	Normas		
	SIS 055900:1998	Vis SSPC	ISSO 8501-2:1994
Com ferramentas manuais	St2	SP2	PSt2
Com ferramentas mecânicas	St3	SP3	PSt3
Com jato abrasivo ligeiro (brush off)	Sa1	SP7	PSa1
Com jato abrasivo comercial	Sa2	SP6	PSa2
Com jato abrasivo ao metal quase branco	Sa2½	SP10	PSa2½
Com jato abrasivo ao metal branco	Sa3	SP5	PSa3

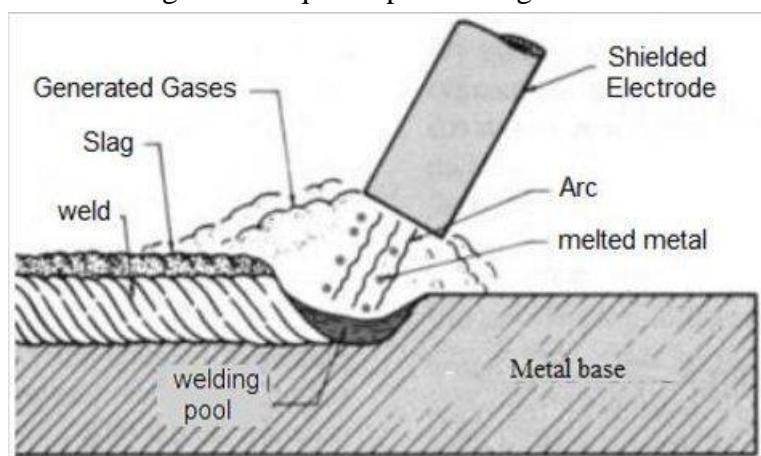
Fonte: Sabesp (2001).

A Associação Brasileira de Corrosão (ABRACO, 2018) desenvolveu um manual prático para pintura anticorrosiva que orienta como devem ser os procedimentos de pintura a fim de garantir resultados satisfatórios para elementos que estão sujeitas ao processo corrosivo.

## 2.5 SOLDA

O método mais utilizado em processo de fabricação de reservatórios metálicos é o *Shielded Metal Arc Welding* (SMAW). Este consiste em produzir coalescência entre metais pelo aquecimento destes com um arco elétrico estabelecido entre o eletrodo revestido e a peça que está sendo soldada, sendo apresentado na Figura 1.

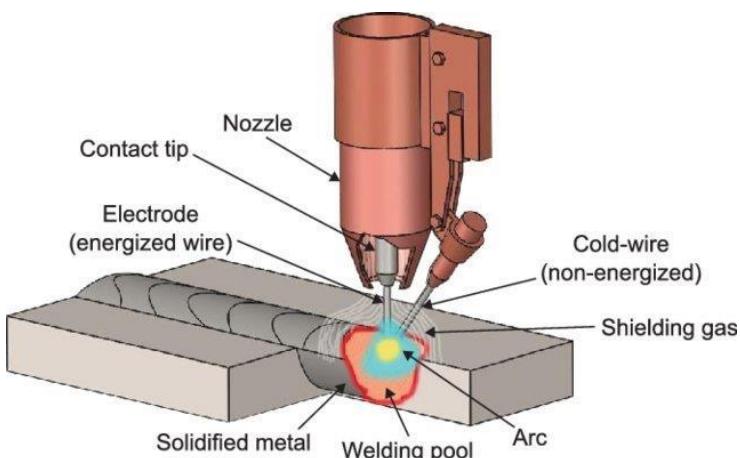
Figura 1- Esquema para soldagem SMAW



Fonte: Jeffus (2011).

Quando a fabricação de um reservatório ocorre dentro de um galpão industrial é recomendado que se utilize o processo de soldagem de *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), que consiste em um arco elétrico com proteção gasosa. Ocorrendo a soldagem com a formação de um arco elétrico entre um arame nu. A proteção contra contaminação atmosférica do arco é feita por gases inertes ou ativos a poça de fusão, conforme demonstrado na Figura 2.

Figura 2 - Esquema para soldagem GMAW



Fonte: Gleick *et al.* (2017).

O processo de montagem deve seguir algumas etapas importantes para evitar deformações das chapas provenientes da etapa de solidificação do metal de adição. Com o alinhamento vertical e horizontal são realizados pequenos pontos nas extremidades para dar a forma de um cilindro (GOMES, 2017).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para o dimensionamento das espessuras de chapas necessárias foram considerados para efeito de cálculo conforme a NBR 8800 Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, as cargas de peso próprio como ação permanente direta, a excentricidade como ações permanentes indiretas e as cargas hidrostática e de vento como ações variáveis.

A ferramenta Excel foi utilizada na montagem da planilha, considerando que, neste tipo de projeto existem condições pré-estabelecidas e informações que devem ser preenchidas pelo projetista, visto que existem diferentes condições de acordo com o local e tipo de projeto. A seguir são apresentados os tipos de campos existentes na planilha:

- Campo desbloqueado (deve ser preenchido pelo projetista);
- Campo bloqueado (cálculos pré-determinados);
- Campo de múltipla escolha (deve ser selecionado pelo projetista).

#### 3.1 DEFINIÇÕES DE PROJETO

Tipologia: Reservatório apoiado no solo (RAP).

Formato: Concebido na forma circular.

Material: Estrutura Metálica.

A partir destas premissas é possível iniciar o dimensionamento do reservatório através da planilha, sendo necessária a alimentação da mesma por parte do projetista, conforme a Figura 3, a fim de identificar as cargas aplicadas na estrutura.

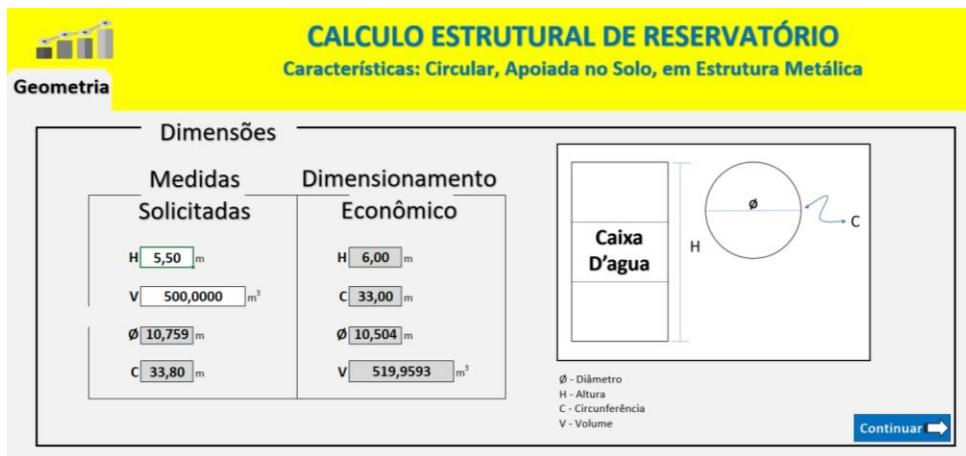


Figura 3 - Página inicial da planilha

Fonte: Própria

### 3.1.1 Características do rap conforme medidas solicitadas

Para iniciar o dimensionamento através da planilha em sua página inicial, deve-se inserir as condições de altura e volume que são definidas pelo projetista conforme as necessidades impostas para o tipo de projeto, podendo ser visualizado os campos na Figura 3.

Altura - H (m): A ser definido pelo projetista, conforme necessidade para atender determinada condição.

Volume - V (m<sup>3</sup>): Permite ao projetista definir, conforme a necessidade identificada no dimensionamento de volume necessário para atender determinada condição. Caracterizando assim o reservatório como de pequeno, médio ou grande porte.

Diâmetro - Ø (m): Conforme a altura e volume definidos pelo projetista será identificado o diâmetro.

$$\text{Ø} = \text{RAIZ} \left( \frac{V}{H * \pi} \right)^2$$

$\text{Ø} = \text{Diâmetro, m}$   
 $\text{RAIZ} = \text{Retorna uma raiz quadrada positiva}$   
 $V = \text{Volume, m}^3$   
 $H = \text{Altura, m}$   
 $\pi = 3,141592$

Circunferência - C (m): Conforme o diâmetro é identificado a metragem da circunferência.

$$C = \text{Ø} * \pi$$

$C = \text{Circunferência, m}$   
 $\text{Ø} = \text{Diâmetro, m}$   
 $\pi = 3,141592$

### 3.1.2 Características do RAP conforme dimensionamento econômico

Nesta etapa conforme as condições estabelecidas pelo projetista, serão definidas as características do projeto no dimensionamento econômico, através do melhor aproveitamento das chapas e redução de cortes.

Altura -  $H_e$  (m): Item passível de alterações, conforme a altura definida pelo projetista, sendo modificada se a condição do dimensionamento econômico  $H$  não corresponder a um número múltiplo de 1,2 m, visto que cada chapa é fabricada com o padrão de 1,20 m de altura. Em caso de alteração em  $H_e$ , a fim de garantir a condição de pressão, a altura será superior a definida pelo projetista. Esta condição é proposta para evitar recortes na chapa em relação a sua altura, o que

$$H_e = \text{Altura econômica, m}$$

$$H_e = \text{TETO.MAT}(H; 1,2) \quad H = \text{Altura, m}$$

$$\text{TETO.MAT} = \text{Função para arredondamento}$$

envolve custos adicionais de mão de obra e possível perda de material.

Circunferência -  $C_e$  (m): Para esta condição serão considerados os valores que combinados entre a altura econômica e o volume definido em projeto irão identificar uma circunferência que atenderá as chapas do costado, para volumes de até 40 m<sup>3</sup>.  $C_e$  pode sofrer variação de meio em meio metro e acima deste volume com variação de comprimento de metro em metro. Esta condição é proposta para que se evite recortar a chapa do costado em medidas desfavoráveis, o que envolve custos adicionais de mão de obra e possível perda de material.

Diâmetro -  $\varnothing_e$  (m): Conforme a circunferência econômica será identificado o diâmetro.

$$C_e = \text{SE}(V \leq 40; \text{TETO.MAT}(\text{RAIZ}\left(\frac{V}{H^* \pi}\right)^{*2} \pi; 0,5); \text{ARREDONDAR.PARA.CIMA}(\text{RAIZ}\left(\frac{V}{H^* \pi}\right)^{*2} \pi; 0))$$

$C_e$  = Circunferência econômica, m

SE = Comparações lógicas entre valores

$V$  = Volume, m<sup>3</sup>

TETO.MAT = Função para arredondamento

RAIZ = Retorna uma raiz quadrada positiva

$H$  = Altura, m

$\pi = 3,141592$

ARREDONDAR.PARA.CIMA = Arredonda o número para cima

$$\varnothing_e = \frac{C_e}{\pi} \quad \varnothing_e = \text{Diâmetro econômico, m}$$

$$C_e = \text{Circunferência econômica, m}$$

$$\pi = 3,141592$$

Volume -  $V_e$  (m<sup>3</sup>): Item passível de alterações, conforme o volume definido pelo projetista, vinculando diretamente as condições de altura e circunferência econômica. Em caso de alteração do volume,  $V_e$  será sempre superior ao definido pelo projetista, a fim de garantir a condição mínima de volume do reservatório.

$$V_e = \left( H_e * \pi * \left( \frac{\varnothing_e}{2} \right)^2 \right) \quad V_e = \text{Volume econômico, m}^3$$

$$H_e = \text{Altura econômica, m}$$

$$\varnothing_e = \text{Diâmetro econômico, m}$$

$$\pi = 3,141592$$

### 3.1.3 Tipos de Aço

Quanto ao tipo de aço a ser utilizado na construção do reservatório, a planilha possibilita a escolha entre o Aço-Carbono e Aço de Baixa Liga sem Tratamento Térmico.

Conforme A NBR 8800:2008 onde apresenta os aços de uso frequente especificados pela ASMT para uso estrutural e Silva (2012) a resistência de alguns tipos de aços de baixa liga.

Aços-Carbono:

- ASTM - A 36, FYK: 250 MPa;
- ASTM A572/Grau42 ou USI CIVIL - 300, FYK: 290 MPa;
- ASTM A572/Grau50 ou USI CIVIL - 345, FYK: 345 MPa.

Aço de Baixa Liga sem Tratamento Térmico:

- CSN-COR-420, FYK: 300 MPa;
- CSN-COR-500, FYK: 370 MPa.

Conforme o tipo de aço definido, haverá uma determinada resistência ao escoamento FYK, e considerando o coeficiente de segurança de 1,15 chega-se a sua resistência de cálculo FYD, sendo apresentada em (tf/cm<sup>2</sup>), de acordo com a Figura 4.

$$FYD = \left( \frac{FYK}{\frac{1,15}{100}} \right) \quad \begin{array}{l} FYD = \text{Resistência de cálculo, tf/cm}^2 \\ FYK = \text{Resistência ao Escoamento, MPa} \end{array}$$

Figura 4 - Definição do aço

**CALCULO ESTRUTURAL DE RESERVATÓRIO**

Geometria      Aço

Definição do Aço

Tipo de Aço	FYK	FYD	Espessura Sacrifício
<input checked="" type="radio"/> A-36 <input type="radio"/> Civil 300 <input type="radio"/> Civil 345 <input type="radio"/> Cor 420 <input type="radio"/> Cor 500	250,00 Mpa	2,174 tf/cm <sup>2</sup>	0,5 mm

**Voltar** **Continuar**

Fonte: Própria

Para a condição de maior durabilidade da estrutura, define-se que se for utilizado Aço-Carbono haverá uma espessura de sacrifício de 0,5mm e se for Aço de baixa liga sem tratamento térmico a espessura de sacrifício reduz para 0,1mm, devido a suas propriedades de resistência a corrosão. Valores estes praticados por profissionais que executam este tipo de dimensionamento.

### 3.2 PRESSÃO HIDROSTÁTICA

Considerando a pressão hidrostática, apresentado na Figura 5, de modo que a densidade do

líquido a ser armazenado deve ser inserida no campo seguinte, sendo que no caso de reservatório de água mantém se a densidade de 1 tf/m<sup>3</sup> e na utilização de outro tipo de fluido deve-se atentar as características de corrosão deste.

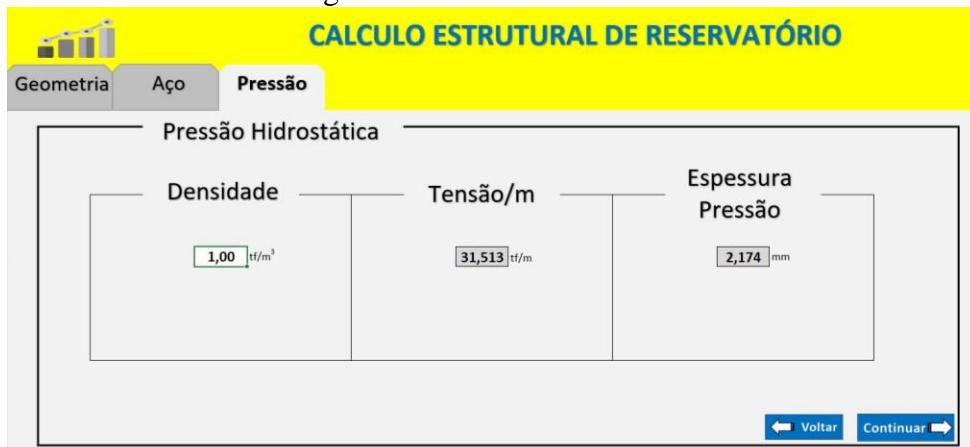
Com a densidade e também já definidas no dimensionamento econômico a altura e o diâmetro é possível identificar a tensão por metro de chapa (tf/m) na base.

$$\sigma/m = \left( \frac{H_e * \rho * \Omega_e}{2} \right) \quad \begin{aligned} \sigma/m &= \text{Tensão por metro, tf/m} \\ H_e &= \text{Altura econômica, m} \\ \rho &= \text{Densidade, tf/m}^3 \\ \Omega_e &= \text{Diâmetro econômico, m} \end{aligned}$$

Na sequência através da tensão que irá gerar uma sobrecarga, considerando um coeficiente de segurança de 1,5 em contraponto a resistência de cálculo, obtendo a espessura de pressão (mm).

$$E_p = \left( \frac{\sigma/m * 1,5}{FYD} \right) * 10 \quad \begin{aligned} E_p &= \text{Espessura de Pressão, mm} \\ \sigma/m &= \text{Tensão por metro, tf/m} \\ FYD &= \text{Resistência de cálculo, tf/cm}^2 \end{aligned}$$

Figura 5 - Pressão Hidrostática



Fonte: Própria

### 3.3 CARGAS DE VENTO

A NBR 6123 Forças devidas ao vento em edificações, contempla o método para identificar as forças que serão aplicadas na estrutura devido ao vento. Caracterizando a velocidade característica por  $V_k = V_o * S1 * S2 * S3$ .

Conforme a Figura 6 é possível identificar a velocidade básica ( $V_o$ ), de acordo com a região em que será instalado o reservatório e assim selecionar o campo equivalente.

Para o Fator  $S1$ , existem três condições, a fim de identificar seu respectivo valor, sendo as características do terreno determinantes para este, sendo considerado:

- $S1$ : 1,0 para terrenos planos ou fracamente acidentados;
- $S1$ : 0,9 para vales profundos, protegidos de ventos de qualquer direção;
- $S1$ : Cálculo de interpolação linear para morros e taludes.

De modo geral o ambiente de implantação deste tipo de estrutura segue as condições do S1: 1,0, porém é possível considerar e lançar as demais condições na planilha, conforme Figura 7.

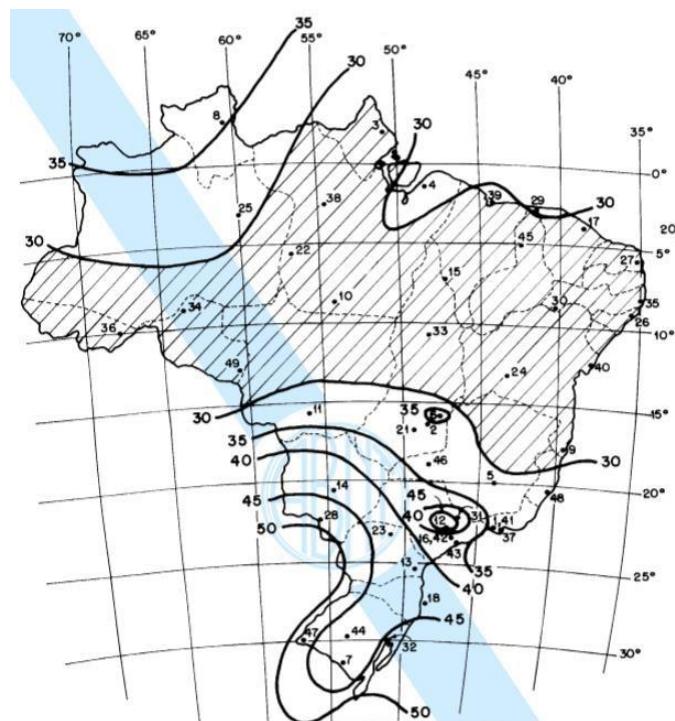
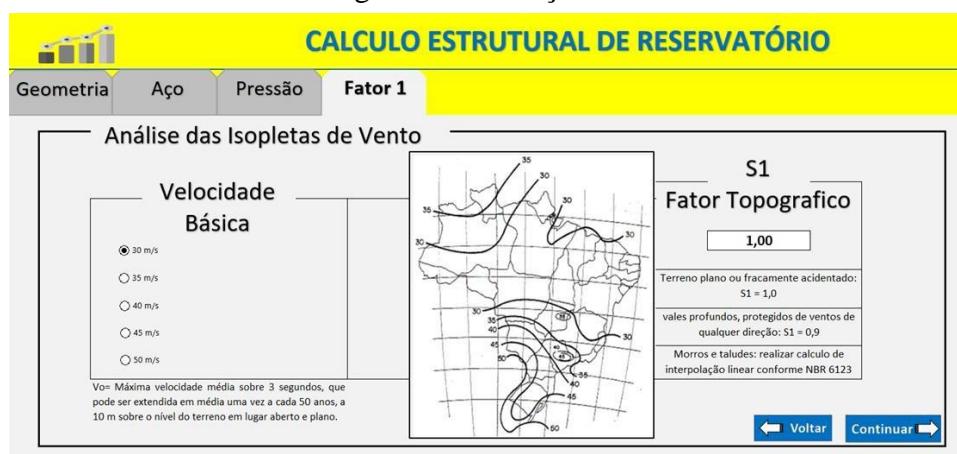


Figura 6 - Isópletas da velocidade básica  $V_0$  (m/s)

Fonte: NBR 6123 (1988)

Figura 7 - Definição de  $V_0$  e  $S_1$



Fonte: Própria

O fator  $S_2$  está relacionado a condição de altura das construções do entorno, seguindo critérios para definição destas alturas conforme obstáculos do entorno, podendo ser classificada em 5 classes, relacionando então as características da construção conforme Tabela do Fator  $S_2$  da NBR 6123.

Para o fator  $S_3$ , seguindo a NBR 6123 conforme a Tabela de valores mínimos do fator estatístico  $S_3$ , o grupo 3 apresenta para edificações com baixo fator de ocupação o valor de  $S_3 = 0,95$ . Podendo o campo ser alterado de acordo com a necessidade do projeto, conforme Figura 8.

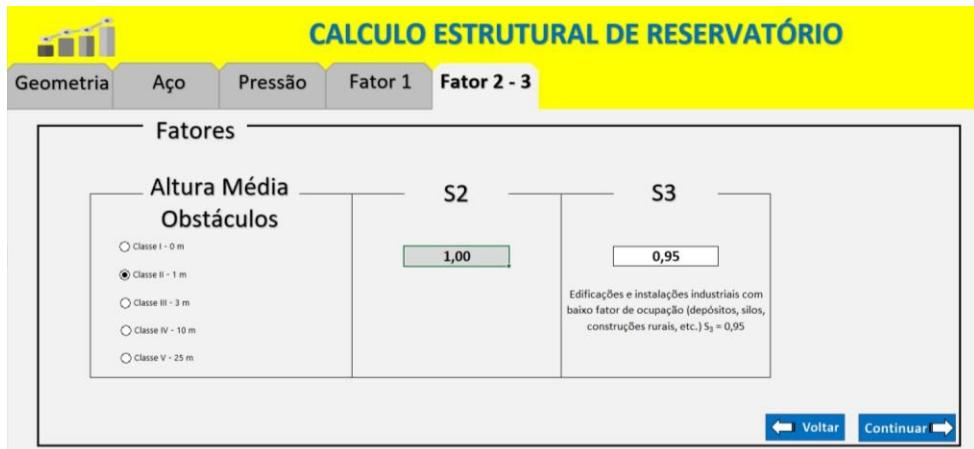


Figura 8 - Fator S2 e Fator S3

Fonte: Própria

Após identificar a velocidade básica e os 3 fatores obtém-se a carga de vento na estrutura ( $\text{kg/m}^2$ ), demonstrado na Figura 9.

$$Q_v = \left( \frac{(V_k)^2}{16} \right) \quad Q_v = \text{Carga do Vento, } \text{kg/m}^2 \\ V_k = \text{Velocidade Característica, m/s}$$

Figura 9 - Esforços do Vento



Fonte: Própria

Conforme a Figura 10, identifica-se o coeficiente de arrasto utilizando a Tabela da NBR 6123, considerando a relação  $He/\varnothing e$ . Para então identificar o valor de carga por metro (tf/m).

Figura 10 - Coeficiente de Arrasto

$$Q/m = \frac{Q_v * \bar{\Omega}_e * \text{PROCV}\left(\frac{H_e}{\bar{\Omega}_e}; C_a; \text{COLUNA; VERDADEIRO}\right)}{1000}$$

$Q/m$  = Carga por metro, tf/m

$Q_v$  = Carga do vento, Kg/m<sup>2</sup>

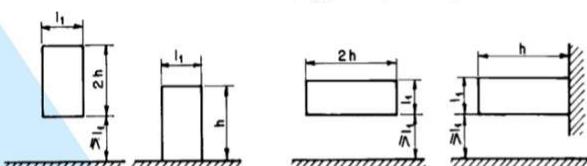
$\bar{\Omega}_e$  = Diâmetro econômico, m

PROCV = Condição p/ localizar itens em uma tabela

$H_e$  = Altura econômica, m

$C_a$  = Coeficiente de arrasto

Tabela 10 - Coeficientes de arrasto,  $C_a$ , para corpos de seção constante



Vento perpendicular ao plano da figura

Planta	$Re^{(A)} \times 10^{-5}$	h/l <sub>1</sub>						
		1/2	1	2	5	10	20	$\infty$
liso (metal, concreto, alvenaria rebocada)	$\leq 3,5$	0,7	0,7	0,7	0,8	0,9	1,0	1,2
	$\geq 4,2$	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,6
com rugosidade ou saliências = 0,02 l <sub>1</sub>	Todos valores	0,7	0,7	0,8	0,8	0,9	1,0	1,2
com rugosidade ou saliências = 0,08 l <sub>1</sub>	Todos valores	0,8	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4

Fonte: NBR 6123 (1988)

Considerando que a estrutura se encontra engastada, através dos valores já identificados de carga por metro e a altura do dimensionamento econômico é possível identificar o momento fletor (tfm) e a força cortante (tf) para a carga de vento.

$$MF_v = \frac{Q/m * (H_e)^2}{2} \quad MF_v = \text{Momento Fletor de vento, tfm}$$

Q/m = Carga por metro, tf/m  
 $H_e$  = Altura econômica, m

$$VC_v = Q/m * H_e \quad VC_v = \text{Força cortante de vento, tf}$$

Q/m = Carga por metro, tf/m  
 $H_e$  = Altura econômica, m

Com a identificação das cargas de vento, passa-se a identificar a espessura necessária para resistir a esta carga através do módulo de resistência mínimo da sessão para resistir ao momento

fletor (W mínimo) (cm<sup>3</sup>), considerando um coeficiente de segurança de cargas de vento para carga variável de 1,5 conforme a resistência do aço.

$$W_{\min} = \frac{(MF_v * 100) * 1,5}{FYD} \quad \begin{aligned} W_{\min} &= \text{Módulo de resistência mínimo da sessão, cm}^3 \\ MF_v &= \text{Momento Fletor de vento, tfm} \\ FYD &= \text{Resistência de cálculo, tf/cm}^2 \end{aligned}$$

Em seguida identifica-se o módulo de resistência para 1mm da sessão (W para 1mm) (cm<sup>3</sup>).

Assim é possível determinar a espessura necessária para atender o momento fletor de projeto (mm) e também a área de aço para a cortante (mm<sup>2</sup>), tendo a força cortante, e considerando a carga de vento com coeficiente de segurança para carga variável de 1,5 conforme 60% da resistência do aço.

$$W_{1\text{mm}} = \frac{(\mathcal{O}_e * 100)^3 - (\mathcal{O}_e * 100 - 0,2)^3 * \pi}{32} \quad \begin{aligned} W_{1\text{mm}} &= \text{Módulo de resistência para 1mm da sessão, cm}^3 \\ \mathcal{O}_e &= \text{Diâmetro econômico, m} \\ \pi &= 3,141592 \end{aligned}$$

$$E_{MF_v} = \frac{W_{\min}}{W_{1\text{mm}}} \quad \begin{aligned} E_{MF_v} &= \text{Espessura para Momento Fletor Carga de Vento, mm} \\ W_{\min} &= \text{Módulo de resistência mínimo da sessão, cm}^3 \\ W_{1\text{mm}} &= \text{Módulo de resistência para 1mm da sessão, cm}^3 \end{aligned}$$

$$AS_{cv} = \left( \frac{VC_v * 1,5}{FYD * 0,6} \right) * 100 \quad \begin{aligned} AS_{cv} &= \text{Área de Aço da Cortante para Carga de Vento, mm}^2 \\ VC_v &= \text{Força cortante de vento, tf} \\ FYD &= \text{Resistência de cálculo, tf/cm}^2 \end{aligned}$$

Conforme o diâmetro econômico obtém-se a circunferência total de cada chapa do costado do reservatório (mm) e para determinar a espessura da força cortante (VD) (mm) utiliza-se a circunferência e a área de aço para cortante, demonstrado na Figura 11.

$$E_{AS_{cv}} = \frac{AS_{cv}}{C_e * 1000} \quad \begin{aligned} E_{AS_{cv}} &= \text{Espessura para força cortante de vento, mm} \\ AS_{cv} &= \text{Área de aço da cortante para carga de vento, mm}^2 \\ C_e &= \text{Circunferência econômica, m} \end{aligned}$$

Figura 11 - Áreas calculadas para o esforço do vento

**CALCULO ESTRUTURAL DE RESERVATÓRIO**

Geometria Aço Pressão Fator 1 Fator 2 - 3 Cargas AS

Esforços do Vento			
W Mínimo	W p/ 1mm	Espessura MF	AS Cortante
463,61 cm <sup>3</sup>	64.982,54 cm <sup>3</sup>	0,007 mm	257,56 mm <sup>2</sup>
Comp. Total		Espessura p/ VD	
33.000,00 mm * Cada chapa do Costado		0,008 mm	

Voltar Continuar

Fonte: Própria

### 3.4 PESO PRÓPRIO

Para determinar o peso total da estrutura (tf), deve-se somar as espessuras de sacrifício, de pressão, do momento fletor e da cortante para a carga de vento considerando o acréscimo de 1mm de segurança, assim será identificada a espessura que ao calcular com a circunferência e altura, utilizando a densidade do aço de 8 tf/m<sup>3</sup> e considerando também o peso próprio da tampa conforme o diâmetro além de outras cargas que não são estruturais mas que farão parte da estrutura como escada (considerando uma carga de 20 kg por metro), o guarda corpo (considerando uma carga de 20 kg por metro de acordo com a circunferência) e uma carga adicional de 600 kg para alguma

$$P_p = \left( \frac{E_{AScv} + E_{MFv} + E_p + E_s + 1}{1000} \right)^* C_e * H_e * \rho_a + \left( \frac{\varnothing_e^2 * \pi}{4} \right) * \frac{3}{1000} * \rho_a + 0,02 * H_e + 0,02 * C_e + 0,6$$

$P_p$  = Peso Próprio, tf

$E_{AScv}$  = Espessura para força cortante de vento, mm

$E_{MFv}$  = Espessura para momento fletor carga de vento, mm

$E_p$  = Espessura de pressão, mm

$E_s$  = Espessura de sacrifício, mm

$C_e$  = Circunferência econômica, m

$H_e$  = Altura econômica, m

$\rho_a$  = Densidade do aço, tf/m<sup>3</sup>

$\varnothing_e$  = Diâmetro econômico, m

$\pi = 3,141592$

outra estrutura que esteja apoiada no reservatório.

O valor do raio de giração (m) compreendendo em 1/4 do diâmetro.

$$I_x = \frac{\varnothing_e}{4} \quad I_x = \text{Raio de Giração, m}$$

$\varnothing_e$  = Diâmetro econômico, m

O valor referente a esbeltez ( $\lambda$ ) (m), considerando a altura e o raio de giração, deve ser inferior ao valor de 200, conforme a NBR 8800:2008.

$$\lambda = \frac{H_e * 2}{I_x} \quad \lambda = \text{Esbeltez, m}$$

$H_e$  = Altura econômica, m

$I_x$  = Raio de Giração, m

A resistência do aço (tf/cm<sup>2</sup>) para este esforço condiz no valor mínimo entre a peça deformando por uma carga excessiva ou a carga que a desloca para fora do seu eixo.

$$R_a = \text{MÍNIMO} \left( \left( \frac{FYK}{100} \right)^2 - 0,000023 * \lambda^2; \frac{10363}{\lambda^2} \right)$$

$R_a$  = Resistência do aço, tf/cm<sup>2</sup>

$FYK$  = resistência ao escoamento, MPa

$\lambda$  = Esbeltez, m

$\text{MÍNIMO} = \text{Retorna o menor número na lista de argumentos}$

A área de aço da sessão (mm<sup>2</sup>) é identificada através da carga total e sua resistência.

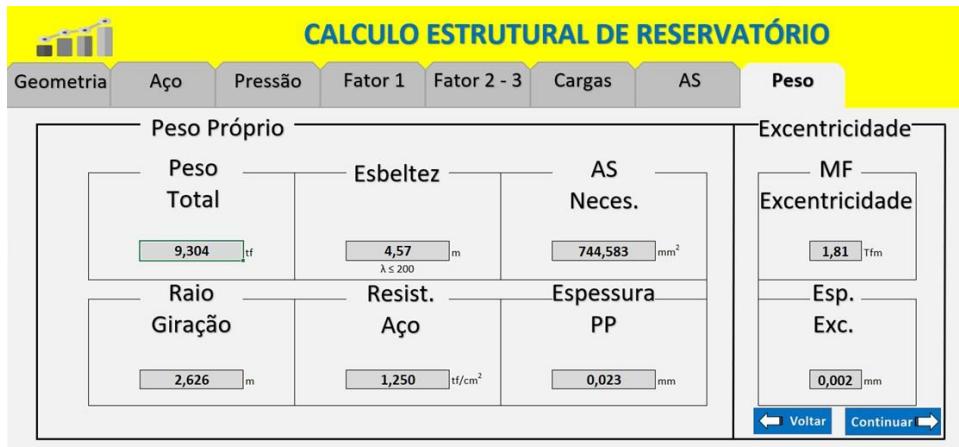
$$AS_{Pp} = \left( \frac{P_p}{R_a} \right) * 100 \quad AS_{Pp} = \text{Área de aço necessária para o peso próprio, mm}^2$$

$P_p$  = Peso Próprio, tf

$R_a$  = Resistência do aço, tf/cm<sup>2</sup>

Para a espessura do peso próprio (mm) leva-se em consideração a área de aço da sessão e o comprimento total de uma chapa do costado do reservatório, conforme Figura 12.

Figura 12 - Condições do peso próprio e excentricidade



Fonte: Própria

$$E_{Pp} = \frac{AS_{Pp}}{C_e * 1000} \quad E_{Pp} = \text{Espessura do peso próprio, mm}$$

$$AS_{Pp} = \text{Área de aço necessária para o peso próprio, mm}^2$$

$$C_e = \text{Circunferência econômica, m}$$

### 3.5 EXCENTRICIDADE

Devido as condições de execução do projeto, pode-se considerar como um alinhamento não perfeito, de modo a gerar momento fletor pela excentricidade (tfm) utilizando os valores do peso total, volume do reservatório, altura e o diâmetro. Método este praticados por profissionais que executam este tipo de dimensionamento.

$$MF_{ex} = \left( \frac{(P_p + V_e) * H_e^2}{\frac{\emptyset_e}{1000}} \right) \quad MF_{ex} = \text{Momento Fletor de excentricidade, tfm}$$

$$P_p = \text{Peso Próprio, tf}$$

$$V_e = \text{Volume econômico, m}^3$$

$$H_e = \text{Altura econômica, m}$$

$$\emptyset_e = \text{Diâmetro econômico, m}$$

A espessura por excentricidade (mm), utilizando o momento fletor de excentricidade, o momento fletor de cargas de vento e a espessura necessária para o momento fletor das cargas de

$$E_{ex} = \left( \frac{MF_{ex}}{MF_v} \right) * E_{MFv} \quad E_{ex} = \text{Espessura de excentricidade, mm}$$

$$MF_{ex} = \text{Momento Fletor de excentricidade, tfm}$$

$$MF_v = \text{Momento Fletor de vento, tfm}$$

$$E_{MFv} = \text{Espessura para Momento Fletor Carga de Vento, mm}$$

vento.

### 3.6 ESPESSURAS

Para determinar a espessura total (mm) utiliza-se as espessuras de sacrifício, de pressão, momento fletor e cortante do vento, de peso próprio e a de excentricidade.

$$E_{\text{total}} = E_s + E_p + E_{MFv} + E_{AScv} + E_{Pp} + E_{ex}$$

$E_{\text{total}}$  = Espessura total, mm

$E_s$  = Espessura de Sacrifício, mm

$E_p$  = Espessura de Pressão, mm

$E_{MFv}$  = Espessura para Momento Fletor Carga de Vento, mm

$E_{AScv}$  = Espessura para força cortante de vento, mm

$E_{Pp}$  = Espessura do peso próprio, mm

$E_{ex}$  = Espessura de excentricidade, mm

Para o total de anéis tendo a altura definida no dimensionamento econômico a considerar que cada chapa possui 1,2 m de altura.

$$T_{\text{anel}} = \text{ARRED} \left( \frac{H_e}{1,2}; 0 \right)$$

$T_{\text{anel}}$  = Total de anéis

ARRED = arredonda o valor para um número especificado de dígitos

$H_e$  = Altura econômica, m

A pressão hidrostática, a força cortante do vento e a espessura do peso próprio são lineares, definindo que a espessura necessária no reservatório aumenta linearmente com a altura. Assim é possível obter a espessura de cada chapa partindo do topo para a base, considerando a espessura total e a altura do reservatório atendendo até uma determinada altura e identificando o total de

$$H_{\text{ch}} = \frac{(E_{\text{ch}}) * H_e}{E_{\text{total}}}$$

$H_{\text{ch}}$  = Altura da chapa, m

$E_{\text{ch}}$  = Espessura da chapa, mm

$E_{\text{total}}$  = Espessura total, mm

$H_e$  = Altura econômica, m

$$Qtd_{\text{anel}} = \text{MÍNIMO} \left( T_{\text{anel}}; \text{ARREDONDAR.PARA.BAIXO} \left( \frac{H_{\text{ch}}}{1,2}; 0 \right) \right)$$

$Qtd_{\text{anel}}$  = Quantidade de anéis conforme espessura da chapa

MÍNIMO = Retorna o menor número na lista de argumentos

$T_{\text{anel}}$  = Total de anéis

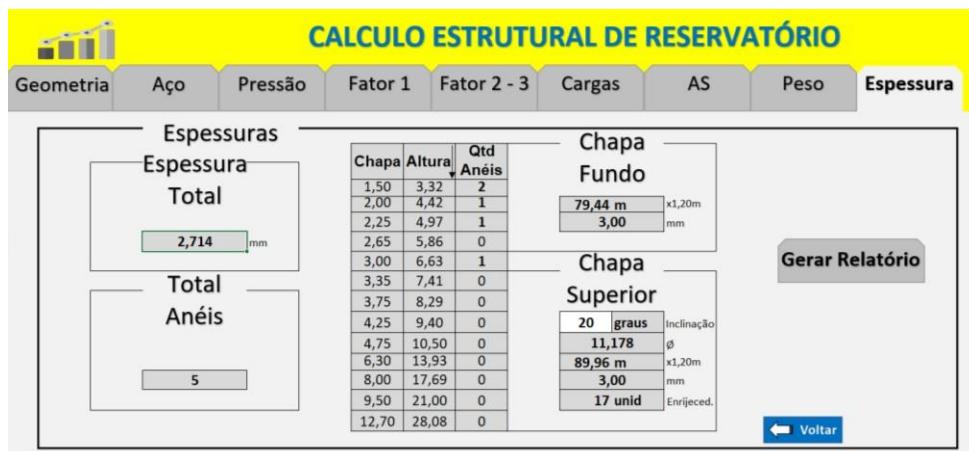
ARREDONDAR.PARA.BAIXO = Arredonda o número para baixo

$H_{\text{ch}}$  = Altura da chapa, m

anéis conforme a espessura da chapa.

Para a chapa de fundo do reservatório utiliza-se a espessura da chapa adotada para o último anel do costado do reservatório. Assim como para a chapa superior, sendo indicada uma inclinação na mesma a fim de reduzir os esforços de vento e escoar a águas pluviais, sendo acrescido de enrijecedores que irão auxiliar para maior sustentação da tampa, conforme apresentado na Figura 13.

Figura 13 - Chapas do costado, fundo e superior



Fonte: Própria

### 3.7 ESPECIFICAÇÕES DO PROJETO

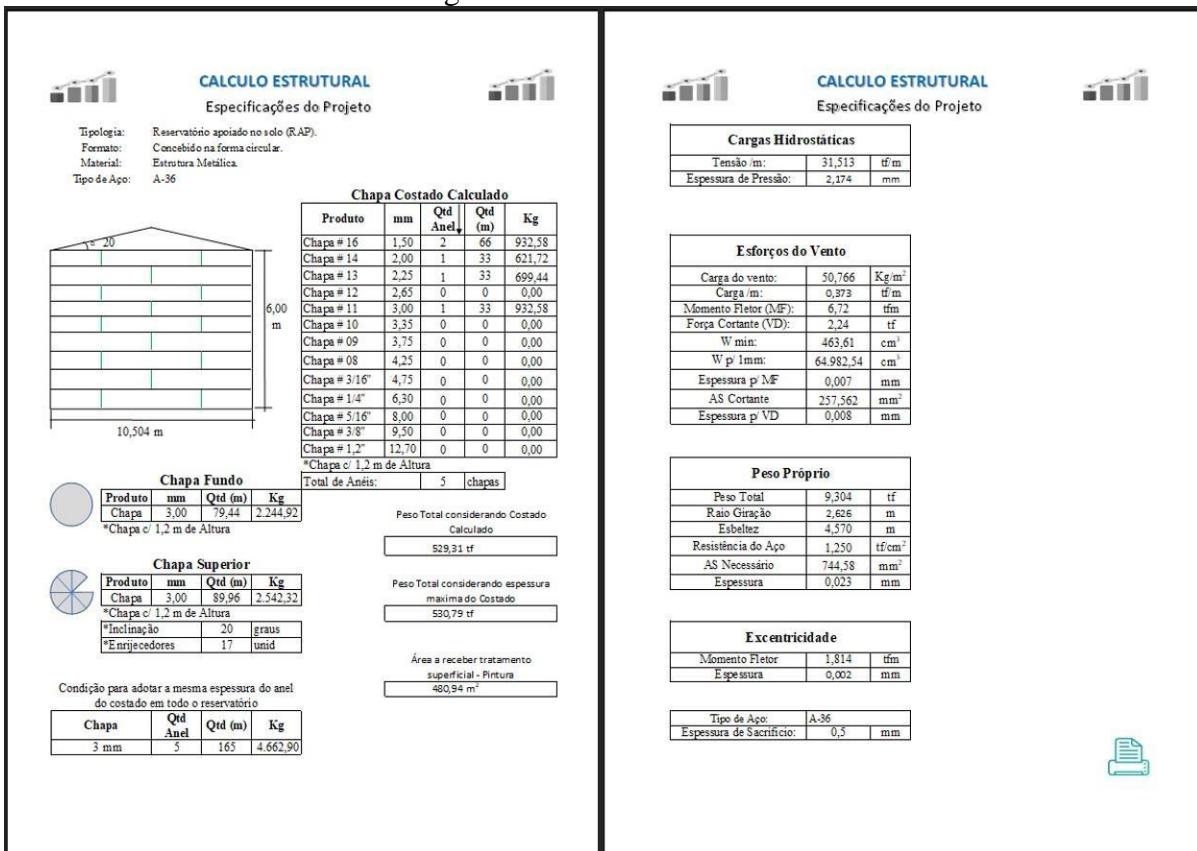
Nas especificações do projeto, estarão disponíveis as informações quanto ao tipo de reservatório, o formato adotado e material de fabricação.

Para o costado do reservatório, o relatório contempla as medidas de comprimento, espessura de chapa mínima e quantidade de kg de acordo com cada espessura calculada a ser utilizada nos anéis. Sendo as espessuras das chapas consideradas do topo para a base.

Para a chapa de fundo do reservatório apresenta a medidas de comprimento, espessura de chapa e quantidade de kg. E para a chapa superior além das medidas de comprimento, espessura de chapa e quantidade de kg, considera a inclinação adotada e a quantidade de enrijecedores a ser utilizada.

A planilha disponibiliza por fim os valores encontrados para cada item quanto a pressão hidrostática, cargas de vento, peso próprio e excentricidade, gerando informações para uma memória de cálculo. Podendo assim o projetista exportar o relatório final para o formato PDF, gerando as páginas apresentadas na Figura 14.

Figura 14 - Relatório Final



Fonte: Própria

### 3.8 ANALISE ATRAVÉS DA NBR 7821

A NBR 7821 Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados, trata de tanques soldados para armazenamento de petróleo e seus derivados e pode-se identificar que projetos de reservatórios para diferentes fins acabam utilizando esta como referência para elaboração e dimensionamento.

Conforme a NBR 7821:1983 o dimensionamento do costado deve atender a uma chapa de espessura nominal mínima de 4,5 mm, considerando que a norma referida se aplica e restringe ao fato do armazenamento de petróleo e seus derivados, conforme Tabela 3.

Tabela 3 - Espessura nominal mínima para chapas do costado

Diâmetro nominal do tanque (m)	Espessura nominal mínima (mm)
D < 15	4,5
15 ≤ D < 35	6,3
35 ≤ D ≤ 60	8,0
60 < D	9,0

Fonte: NBR 7821 (1983).

Conforme a NBR 7821 quanto a chapa de fundo a menor espessura nominal das chapas do fundo deve ser de 6,3 mm e para a chapa superior mínima de 4,7 mm.

A aplicação desta norma pode não condizer com a realidade, quando se considera reservatórios para armazenamento de água. Ressalta-se que esta norma se aplica ao armazenamento de petróleo e seus derivados, de modo a ser considerado a agressividade química do produto armazenado, além deste ser inflamável e em caso de vazamento, danoso ao meio ambiente.

### 3.9 CONDIÇÕES DE PROJETO

A variação da altura do reservatório caracteriza que, quanto mais alto este for, maior a possibilidade de variação das chapas do costado, de modo que no processo de fabricação deste tipo de estrutura não são utilizadas todas essas variações de espessura calculada devido a questões estéticas e de acabamento, assim sendo em alguns projetos pode-se adotar a chapa de espessura crítica para atender todo ou parcialmente o costado do reservatório.

Os detalhamentos de guarda corpo, boca de inspeção, duto de ventilação, escada, SPDA além de tubulação de entrada, saída e extravasor não são considerados parte estrutural e são definidos conforme necessidade do projeto.

O tipo de fundação decorrerá conforme as características geométricas do reservatório, do tipo de solo identificado através de ensaio, assim como disponibilidade de equipamentos e mão de obra para execução conforme local de implantação cabendo ao projetista esta definição e dimensionamento.

A soldagem, assim como a preparação da superfície e pintura devem seguir os padrões e normatizações equivalentes, a fim de garantir maior durabilidade a estrutura.

## 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente pesquisa consistiu em apresentar diretrizes para a elaboração de uma planilha, a fim de auxiliar no dimensionamento econômico de reservatório apoiado no solo, produzido em estrutura metálica com formato circular. Através da inserção das premissas de projeto na planilha pelo projetista são identificadas as cargas atuantes, sendo então calculadas as espessuras mínimas necessárias das chapas conforme sua função e ainda reduzindo os recortes e perda de materiais. O surgimento de novos reservatórios traz consigo benefícios a partir de sua capacidade de armazenamento de água, possibilitando suprir as já existentes e novas demandas de consumo, porém estes devem atender aos requisitos de economia, segurança e durabilidade.

Além de identificar as espessuras necessárias das chapas e as dimensões econômicas do reservatório, o projetista deve considerar assuntos pertinentes, tais como, soldagem, preparação da superfície e pintura, fundação e demais estruturas de apoio necessárias para a funcionalidade do reservatório.

Espera-se que esta pesquisa possa contribuir de forma singela com as discussões do tema, contribuindo para novas pesquisas e na elaboração deste tipo de projeto. Mediante a crescente utilização deste tipo de reservatório, onde parcela dos projetos tem como referência uma norma para armazenamento de petróleo e seus derivados, sugere-se estudos e viabilização para criação de uma norma específica para reservatórios de água, dada à importância do assunto.

## REFERÊNCIAS

ABRACO. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CORROSÃO. Recomendação prática: pintura anticorrosiva. **Corrosão e proteção**: 50 anos, Rio de Janeiro, ano 15, ed. 62, maio/junho 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6123**: Forças devidas ao vento em edificações. Rio de Janeiro, 1988.

\_\_\_\_\_. **NBR 7821**: Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados. Rio de Janeiro, 1983.

\_\_\_\_\_. **NBR 8800**: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios, 2008.

COSTA, E. S. *et al.* Residual stresses in cold-wire gas metal arc welding. **Science and Technology of Welding and Joining**, v. 22, n. 8, p. 706–713, 2017.

GLEICK, P. H. Water use. **Annual review of environment and resources**, v. 28, n. 1, p.275–314, 2003.

GOMES, E. F. **Soldagem em reservatórios metálicos para armazenamento de água**. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2017.

JARDIM, M. da L. dos S. **Reservatórios para sistema de abastecimento e distribuição de água potável-RAM**, 2017.

JEFFUS, L. **Welding: principles and applications**. Nelson Education, , 2011.

OKI, T.; KANAE, S. Global hydrological cycles and world water resources. **Science**, v. 313,n. 5790, p. 1068–1072, 2006.

PEREIRA, E. A. **Patologias em reservatórios de água potável e sua correção**, 2010. PEREIRA, J. C. V. **Reservatórios em material compósito para fluidos sob pressão**, 2007.

PFEILL, W. **Estruturas de aço: dimensionamento prático**. 8. ed. Rio de Janeiro: LTC,2009.

SABESP. **Norma Técnica SABESP NTS 085 - preparo de superfícies metálicas para pintura**. São Paulo: SABESP, 2001.

SILVA, Valdir Pignatta. **Dimensionamento de estruturas de aço**. Apostila para a disciplina PEF 2402 - Estruturas metálicas e de madeira, São Paulo, p. 1-150, 1 jul. 2012.

WALTER, B. A. **An enhanced inventory of global dams and reservoirs and their contribution to sea level**, 2018.