

## DIMENSIONAMENTO DA TENSÃO ADMISSÍVEL DE TANQUES DE ARMAZENAMENTO BASEADO NA NORMA API 650 UTILIZANDO A SIMPLIFICAÇÃO DO CÁLCULO<sup>1</sup>

Ketlin Schaefer<sup>2</sup>  
Elisete Adriana Jose Luiz<sup>3</sup>  
Keila Daiane Ferrari Orso<sup>4</sup>

### RESUMO

Esta pesquisa teve por finalidade propor o uso da modelagem matemática como ferramenta para simplificação do cálculo da tensão admissível de tanques de armazenamento baseado na norma API 650. Através deste buscou-se verificar a interferência do material e do elemento de fixação na resistência dos tanques, a simplificação das equações retiradas da norma para o cálculo da tensão admissível e elaboração de uma tabela no Excel utilizando a simplificação proposta. Foram utilizados para meios de estudo principalmente a norma API 650 e foram obtidos dados sobre tanques através de e-mails trocados com engenheiros responsáveis por um local que possui este modelo de tanque. Obteve-se a partir deste então uma análise que apresentou o aço carbono como o principal material utilizado na fabricação de tanques e solda como o principal elemento de fixação, além disto utilizando a modelagem como ferramenta de conhecimento obteve-se a simplificação das equações e duas tabelas do Excel que tem como proposta facilitar o cálculo da tensão, estas tabelas fizeram o uso das equações que foram desenvolvidas durante esta pesquisa baseadas nas equações presentes na norma.

**Palavras-chave:** Modelagem matemática. Tanques de armazenamento. Tensão admissível.

### 1 INTRODUÇÃO

A engenharia é uma ciência que busca constantemente auxiliar a sociedade na resolução de problemas e no desenvolvimento de novos projetos. Neste ponto de vista, a Modelagem Matemática facilita a resolução e simplificação de equações, a partir de modelos matemáticos. Bassanezi (2013) define o modelo matemático como o conjunto de relações e símbolos matemáticos que representam o objeto que está sendo estudado.

Está pesquisa tem como tema norteador o dimensionamento da tensão admissível de tanques de armazenamento baseado na norma API 650 utilizando a simplificação do cálculo.

Com os cálculos da tensão admissível do tanque busca-se garantir que os mesmos não apresentem falhas, além de definir um padrão máximo de tensão que o tanque pode suportar

---

<sup>1</sup> Pré-requisito para obtenção do título de Engenheira Mecânica.

<sup>2</sup> UCEFF Faculdades. Acadêmico do Curso de Engenharia Mecânica. E-mail: ketischaef@gmail.com

<sup>3</sup> UCEFF Faculdades. Dr em Ensino de Ciências e Matemática. E-mail: elisete@uceff.edu.br

<sup>4</sup> UCEFF Faculdades. Docente do curso de Engenharia Mecânica. E-mail: keila@uceff.edu.br

para poder executar a sua função com êxito. Utiliza-se então a Modelagem Matemática como ferramenta de auxílio para a simplificações dos cálculos da tensão admissível de um tanque de armazenamento. Assim pode-se questionar: **Como dimensionar a tensão admissível de tanques de armazenamento?**

Sendo assim, este estudo apresenta como objetivo geral utilizar a Modelagem Matemática para simplificação do cálculo da tensão admissível de tanques de armazenamento de produtos químicos e óleo baseado na norma API 650. Os objetivos específicos dividem-se em: analisar informações sobre os tanques de armazenamento e diagnosticar qual a interferência do material e do elemento de fixação nos tanques de armazenamento; simplificar (com o auxílio da modelagem matemática) as equações e desenvolver uma tabela no Excel para facilitar os cálculos da tensão admissível.

Qualquer projeto é suscetível a falhas e o trabalho do Engenheiro Mecânico é através de análises e cálculos evitar e prevenir o acontecimento de acidentes por causa destas falhas. A engenharia aliada com a ciência dos materiais vem estudando métodos para diminuição de todas e quaisquer problemas ligados a baixa resistência de um material.

Para garantir a resistência de um material são necessárias análises preliminares ao projeto, garantindo que o material utilizado no projeto atenda às necessidades do mesmo, e após isso se fazem necessários cálculos posteriores a realização do projeto levando em consideração algumas condições que podem não ter sido levadas em consideração na análise pré-projeto.

Os tanques de armazenamento devem garantir que o produto armazenado não perda suas propriedades e principalmente garantir que não haja nenhum vazamento, para não haver problemas com poluição ou até mesmo vazamento que provoquem grandes perdas de material.

## **2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

### **2.1 MODELAGEM MATEMÁTICA**

A Modelagem Matemática muitas vezes é conceituada como a aplicação da matemática em outras áreas de conhecimento, isso simplesmente é uma limitação teórica. A Modelagem é como um guarda-chuva que ao se abrir integra quase tudo, isso não define uma fronteira, mas sim esclarece melhor o que pode se chamar de Modelagem (BARBOSA, 2004).

Bassanezi (2013) define Modelagem Matemática como o processo de criação e validação de um modelo matemático, ela transforma situações cotidianas em problemas matemáticos que devem resolvidos de forma usual.

Luiz e De Cól (2014) descrevem que muitas das habilidades requeridas para um engenheiro, estas como: raciocinar, analisar e argumentar com clareza, demonstrar ideias, lidar com informação e tecnologia podem ser favorecidas e aperfeiçoadas pelo desenvolvimento de atividades com a Modelagem Matemática, pois este requer interação, colaboração, cooperação, participação ativa, envolvimento em atividades de estudo, socialização de ideias, capacidade de argumentação e síntese, capacidade de expressar ideias próprias e disposição para rever resultados obtidos.

### **2.1.1 Modelo Matemático**

Biembengut e Hein (2002) descrevem a elaboração de um modelo matemático como um processo que depende integralmente do conhecimento matemático que se tem, quanto mais delimitado o conhecimento mais delimitado o modelo, e quanto maior o conhecimento, maiores serão as possibilidades de resolver modelos mais sofisticados. Porém o modelo não é medido por sua sofisticação.

Bassanezi (2013) enfatiza que a importância do modelo matemático se baseia em uma linguagem que expresse as ideias de maneira clara, além de dar uma infinidade de possibilidades de resultados, que podem ou não se utilizar de métodos computacionais para chegar em suas soluções numéricas.

## **2.2 TANQUE DE ARMAZENAMENTO**

Sato (2015) descreve tanques de armazenamento como equipamentos estáticos de estrutura pesada, normalmente com pressão próxima a atmosférica e em sua maioria são destinados a armazenamento de petróleo e seus derivados.

Existe uma grande variedade de tipos de tanques estes são normalmente classificados conforme o seu teto como podemos observar no Quadro 1.

### Quadro 1 - Classificação dos tanques

<p>Tanque de teto fixos são tanques verticais, cilíndricos que tem seu teto fixo no seu costado.</p>	<p>Tanque de teto móvel são tanques que tem uma câmara de vapor que tem pressão responsável pelo movimento do teto, estes possuem uma selagem entre o costado e o teto.</p>	<p>Tanque de teto flutuante é aquele que o teto flutua sobre o líquido, acompanhando sua movimentação, existe uma redução considerável da perda de líquido por evaporação do que em tanques com teto fixo, no entanto o custo para sua construção e manutenção é bem maior.</p>
		

Fonte: Adaptado de Pereira (2013), Gonçalves (2003) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de SP (IPT, 2010).

O Quadro 1 apresenta imagens de tanques e sua classificação conforme o tipo de teto que cada um destes tem, sendo eles: fixo, móvel e flutuante.

## 2.3 MATERIAL

Nunes (2012) relata que os materiais tem extrema importância na vida dos seres humanos desde os primórdios da humanidade, e que a utilização destes sempre representou um papel muito significativo na necessidade que o homem tinha de produzir ferramentas, máquinas e instalações que tornem sua vida mais confortável e mais fácil.

Askeland e Phulé (2008) avaliam os materiais metálicos como materiais com boa condutividade térmica e elétrica, além de destacar que tanto as ligas metálicas como os metais tem alta resistência e ductilidade. Cita ainda que estes são de muita utilidade em aplicações estruturais, embora os metais puros não são muito utilizados são criadas ligas metálicas para melhor atender as necessidades do projeto.

Dentre os materiais metálicos existem três que são mais utilizados, estes estão apresentados no Quadro 2.

### Quadro 2 - Classificação dos Materiais Metálicos

<p><b>Aço Carbono:</b> os aços carbono são ligas de ferro e carbono com um teor de carbono normalmente inferior a 2%, além de conter outros elementos residuais como fosforo e enxofre em teores muito reduzidos.</p>	<p><b>Aço liga:</b> define os aços liga são aços carbono que possuem outros elementos residuais além do carbono em sua composição, com teores acima dos que são considerados normais.</p>	<p><b>Aço inox:</b> aços inoxidáveis são ligas de ferro, carbono e cromo que devem conter no mínimo 10,5% de cromo, estas ligas também podem conter outros elementos metálicos, mas o cromo é considerado o mais importante pois é ele que dá elevada resistência a corrosão aos aços inoxidáveis.</p>
		

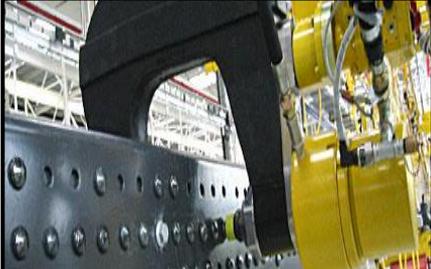
Fonte: Nunes (2012), Chiaverini (2012), Carbó (2008), Galvaminas (2019), Mecânica Industrial (2019) e Arinox (2014).

O Quadro 2 apresenta uma classificação e descrição dos materiais metálicos, estes estão divididos em aço carbono, aço liga e aço inox. Sendo que os mais utilizados em tanques de armazenamento é o aço carbono.

### 2.4 ASSOCIAÇÃO DE PEÇAS METÁLICAS

Pfeil e Pfeil (2014) citam a união de peças metálicas como uma união feita através de furos ou obtida por fusão das partes adjacentes. Essas associações podem ser classificadas em dois tipos, conforme apresentado no Quadro 3.

### Quadro 3 - Tipos de Associações Metálicas

<p><b>Fixas permanentes:</b> Não permitem desmontagem, somente se houver desconstrução dos componentes. Exemplo: Solda: a soldagem é um processo de união utilizando pressão e uma fonte de calor para unir duas partes metálicas.</p>	<p><b>Fixas destacáveis:</b> Permitem desmontagem sem destruição dos componentes. Exemplo: Rebite: os rebites são conectores que são instalados normalmente a quente, e que no produto final apresenta duas cabeças. Após a sua instalação ele resfria e automaticamente aperta as duas chapas entre si.</p>
	

Fonte: Adaptado de Brandi (2015), Capmac Industry (2019), Pfeil e Pfeil (2014), Provenza (1985), ViaCarreira (2019).

O Quadro 3 apresenta a classificação dos tipos de associação mecânica, sendo eles fixas permanentes (solda) e fixas destacáveis (rebite). Sendo que o mais utilizado na fabricação de tanques de armazenamento são as fixas permanentes, ou seja, a solda.

## 2.5 SUBSTÂNCIAS ARMAZENADAS

Silva, Duarte e Carvalho (2016) descrevem que os tanques são normalmente feitos de um material mais barato e com maior resistência, as substâncias armazenadas afetam diretamente o material do tanque, devem ser levados em consideração o PH, a temperatura, a salinidade e várias outras questões ligadas a substância na construção de tanques de armazenamento e em sua manutenção. Estes produtos podem ser classificados conforme o Quadro 4.

### Quadro 4 - Classificação das Substancias

Substâncias Corrosivas (Produtos Químicos): substâncias corrosivas são misturas ou substancias que podem ter uma ação destrutiva sobre os tecidos dos seres humanos ou até da natureza.	Substâncias Não Corrosivas (Óleo vegetal): o óleo vegetal bruto é um material que precisa passar por um refinamento para se tornar puro e após isso se torna estável e nutritivo para produzir alimentos. Já a parte solida é destinada a alimentação de animais de corte.
	

Fonte: Custodio (2003), Costalonga; Finazzi; Gonçalves (2010), Rescue (2019) e Óleos Para Tudo (2016).

No Quadro 4 são classificadas as substâncias conforme sua periculosidade, estas estão divididas em corrosivas que são aquelas que apresentam risco e não corrosivas aquelas que não apresentam riscos.

## 2.6 RESISTÊNCIA

Hibbeler (2010) descreve a resistência dos materiais como um ramo da engenharia mecânica que estuda a relação das forças internas e externas de um corpo, ou seja, forças aplicadas na superfície para deforma-lo e forças que agem no seu interior.

Beer, Junior e DeWolf (2010) citam que a mecânica dos materiais tem como principal objetivo proporcionar aos futuros engenheiros meios para analisar e projetar máquinas e equipamentos.

Brockman (2010) complementa que nos metais a resistência depende de seus pequenos átomos ou cristais e que estes sofrem variações conforme o tipo de tensão aplicada ou até o ambiente que este está exposto.

## 2.8 NORMAS

As normas regulamentadoras tanto brasileiras como estrangeiras tem como objetivo dar um rumo para todo e qualquer projeto. Este projeto terá enfoque nas normas API 650, NBR 7821 e API 653. Sendo que a principal a ser utilizada em seu desenvolvimento será API 650.

### 2.8.1 API 650 - Tanques de Aço Soldados para Armazenamento de Petróleo

Segundo a norma API 650 (2007):

Esta Norma estabelece os requisitos mínimos para o material, projeto, fabricação, montagem e testes para a vertical, cilíndrico, na superfície, fechados e topo aberto, soldados de carbono ou tanques de aço inoxidável de armazenamento em vários tamanhos e capacidades para pressões internas da aproximação da pressão atmosférica (não superior a pressões internas do peso das placas de teto), mas uma maior pressão interna é permitida quando os requisitos adicionais são cumpridos. Esta Norma se aplica somente a tanques cujo inteiro fundo é uniformemente apoiada e tanques em serviço não-refrigerados que têm uma temperatura máxima de 93 ° C (200 ° F) ou menos.

Sobre as espessuras a Tabela 1 apresenta as espessuras mínimas exigidas do costado do tanque.

**Tabela 1 - Espessuras Mínimas**

Espessura nominal da chapa	
mm	Polegada
5	3/16
6	1/4
8	5/16
10	3/8

Fonte: Adaptado da API 650 (2007).

Segundo a API 650 (2007), a rede de espessuras de chapa da real espessura menos qualquer subsídio à corrosão, deve ser utilizado no cálculo. A base de projeto de tensão,  $S_d$ , deve ser de dois terços a força de rendimento ou de dois quintos da força de tração, o que for menor.

O cálculo da espessura do tanque segundo a API 650 (2007), “Este método calcula a espessura exigida no projeto pontos de 0,3 m acima da parte inferior de cada curso do reservatório. Este método não deve ser utilizado para tanques maiores de 60 m em diâmetro.”

A espessura mínima exigida de chapas do reservatório deve ser o maior dos valores calculados pelas seguintes fórmulas (API 650, 2007).

$$t = \frac{4,9D(H-0,3)G}{S_d} + CA \quad (1)$$

Onde:

t: espessura da casca em mm;

D: diâmetro nominal do reservatório em m;

H: nível de máxima líquida em m;

G: peso específico  $g/cm^3$ ;

CA: tolerância a corrosão em mm;

$S_d$ : tensão admissível em MPa;

Projeto pelo variável-projeto-método de ponto dá espessuras de casca em pontos do projeto que resultará nas tensões calculadas sendo relativamente próximos do real salienta da casca circunferencial. Este método pode ser usado somente quando o comprador não tenha especificado que o método 1-pé seja utilizado e quando o seguinte for verdadeiro (API 650, 2007).

$$\frac{L}{H} \leq \frac{1000}{6} \quad (2)$$

Onde:

L:  $(500Dt)^{0,5}$  em mm;

D: diâmetro nominal do reservatório em m;

t: espessura do reservatório inferior com exclusão de qualquer subsídio a corrosão em mm;

Espessuras do fundo de curso  $t_{1d}$  e  $T_{1T}$  para o desenho e as condições de teste hidrostático devem ser calculadas utilizando a seguinte fórmula (API 650, 2007).

$$t_{1d} = \left( 1,06 - \frac{0,0696D}{H} \sqrt{\frac{HG}{S_d}} \right) \left( \frac{4,9HDG}{S_d} \right) + CA \quad (3)$$

Para calcular o segundo curso de espessuras, tanto para a condição de projeto e condição de teste hidrostático, o valor da seguinte proporção deve ser calculado para o curso inferior (API 650, 2007).

$$\frac{h_1}{(rt_1)^{0,5}} \quad (4)$$

Onde:

$h_1$ : altura do curso da concha inferior em mm;

$r$ : raio nominal do tanque em mm;

$t_1$ : espessura calculada em mm;

Se o valor da taxa é inferior ou igual a 1, 375 segundo API 650 (2007):

$$t_2 = t_1 \quad (5)$$

Se o valor da taxa é maior ou igual a 2, 625 segundo API 650 (2007):

$$t_2 = T_{2A} \quad (6)$$

Se o valor da taxa é superior a 1, 375, mas inferior a 2,625 segundo API 650 (2007):

$$t_2 = t_{2a} + (t_1 - t_{2a}) \left[ 2,1 - \frac{h_1}{1,25(rt_1)^{0,5}} \right] \quad (7)$$

Onde:

$t_2$ : espessura mínimos de projeto de curso da casca segundo com exclusão de qualquer subsídio à corrosão, em milímetros;

$T_{2A}$ : espessura da casca segundo curso, em mm;

Para o cálculo da espessura superior do projeto de curso, tanto para a condição e da condição de teste hidrostático, uma preliminar tu valor para a espessura de curso superior deve ser calculado utilizando as fórmulas em 5.6.3.2 com exclusão de qualquer subsídio a corrosão, e então a distância  $x$  do ponto de desenho variável do fundo do curso será calculada com base no menor valor obtido a partir do seguinte (API 650, 2007).

$$x_1 = 0,61(rt_u)^{0,5} + 320CH \quad (8)$$

$$x_2 = 1000CH \quad (9)$$

$$x_3 = 1,22(rt_u)^{0,5} \quad (10)$$

Onde:  $t_u$ : espessura do curso superior no perímetro comum, exclusivo, de qualquer subsídio à corrosão, em mm.

$$C = \frac{[K^{0,5}(K - 1)]}{(1 + K1,5)}$$

$$K = \frac{t_L}{t_u}$$

$t_L$  = espessura do baixo curso no perímetro comum, exclusivo, de qualquer subsídio à corrosão, em mm;

A espessura mínima  $t_x$  para os cursos de casca superior deve ser calculada tanto para a concepção de condição ( $t_{dx}$ ) e as condições de teste hidrostático ( $t_{tx}$ ), utilizando o valor mínimo de  $x$  (API 650, 2007).

$$t_{dx} = \frac{4,9D\left(H - \frac{x}{1000}\right)G}{S_d} + CA \quad (11)$$

$$t_{tx} = \frac{4,9D\left(H - \frac{x}{1000}\right)}{S_t} \quad (12)$$

Segundo a API 650 (2007):

A largura mínima do tanque de chapa de reforço na parte inferior da linha central da abertura é de 250 mm mais combinado a espessura da chapa da casca na cleanout abertura e montagem do reservatório de reforço da placa. A espessura mínima da chapa de fundo o reforço deve ser determinada pela seguinte equação.

$$t_b = \frac{h^2}{360000} + \frac{b}{170} \sqrt{HG} \quad (13)$$

Onde:

$t_b$ : espessura mínima da chapa de reforço inferior em mm;

$h$ : altura vertical de abertura livre em mm;

$b$ : largura horizontal de abertura livre em mm;

Tensão à tração de aro dinâmico devido ao movimento sísmico de líquido deve ser determinado pelas seguintes equações (API 650, 2007).

Para  $D/H \geq 1,333$ :

$$N_i = 21,4A_iGDH \left[ \frac{Y}{H} - 0,5 \left( \frac{Y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left( 0,866 \frac{D}{H} \right) \quad (14)$$

Onde:

$Y$ : distância da superfície do líquido ao ponto de análise em m;

$A_i$ : aceleração do espectro impulsivo;

Para  $D/H < 1,33$  e  $Y < 0,75$ :

$$N_1 = 13,16A_iGD^2 \left[ \frac{Y}{0,75D} - 0,5 \left( \frac{Y}{0,75D} \right)^2 \right] \quad (15)$$

Para  $D/H < 1,333$  e  $Y \geq 0,75$ :

$$N_i = 6,6A_iGD^2 \quad (16)$$

Para todas as proporções de D / H:

$$N_c = \frac{33,1A_cC_cSGD^2 \cosh\left[\frac{3,68(H-Y)}{D}\right]}{\cosh\left[\frac{3,68H}{D}\right]} \quad (17)$$

Onde:

Ac: aceleração de resposta espectral do coeficiente;

Cc: relação entre módulo de elasticidade,  $\pi$  e tensão de escoamento;

S: sobrecarga N/m<sup>2</sup>;

Quando o comprador especifica que a aceleração vertical não precisa ser considerada (ou seja,  $A_v = 0$ ), a tensão aro combinada deve ser definida pela Equação. O aro dinâmico de tensão à tração deve ser combinado diretamente com o produto hidrostático do projeto de tensão na determinação da tensão total (API 650, 2007).

$$\sigma_T = \sigma_h \pm \sigma_s = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2}}{t} \quad (18)$$

Quando a aceleração vertical é especificada segundo a API 650 (2007).

$$\sigma_T = \sigma_h \pm \sigma_s = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2 + (A_v N_h)^2}}{t} \quad (19)$$

Onde:

$A_v$ : coeficiente vertical de aceleração de terremoto;

$N_h$ : Produto de força de membrana hidrostática em n/mm;

Tensões admissíveis em aplicação de elementos estruturais as condições normais de funcionamento podem ser aumentadas em 33% quando os efeitos do projeto de terremoto estão incluídos (API 650, 2007).

## 2.8.2 NBR 7821 – Tanques Soldados para Armazenamento de Petróleo e Derivados

A NBR 7821 (1983, p.1) tem como principal objetivo:

Estabelecer as exigências mínimas que devem ser seguidas para materiais, projeto, fabricação, montagem e testes de tanques de aço-carbono, soldados, cilíndricos, verticais, não enterrados, com teto fixo ou flutuante, destinados ao armazenamento de petróleo e seus derivados líquidos.

Segundo a NBR 7821 (1983, p.1):

Esta Norma abrange apenas os tanques sujeitos a uma pressão próxima da atmosférica, permitindo-se que a válvula de respiro do tanque, quando existente, esteja regulada para uma pressão manométrica máxima de 0,0035 kgf/cm<sup>2</sup>, e para um vácuo máximo de 0,0038 kgf/cm<sup>2</sup>, ambos os valores medidos no topo do tanque.

Ainda sobre a abrangência da NBR 7821 (1983, p.2), “Esta Norma abrange apenas tanques cujos produtos armazenados tenham temperaturas compreendidas entre os seguintes limites: temperatura mínima: -6°C e temperatura máxima: + 200°C.”

Sobre o material dos tanques a NBR 7821 define que as chapas utilizadas devem seguir as recomendações do Quadro 5.

#### Quadro 5 - Classificação das Chapas

TIPO DE CHAPA	NORMAS
Chapas Grossas	ASTM A-36 – Aço estrutural. ASTM A-28 – Chapas de aço-carbono de qualidade estrutural com resistência à tração baixa e intermediária. ASTM A-285 – Chapas de aço para vasos de pressão com resistência à tração baixa e intermediária. ASTM A-573 – Chapas de aço-carbono estrutural com tenacidade melhorada. NBR 5006 – Chapas Grossas de aço-carbono de baixa e média resistência para vasos de pressão. NBR 6648 - Chapas grossas de aço-carbono de baixa e média resistência para usos estruturais. ASTM A-131 – Aço estrutural para navios. ASTM A-442 – Chapas de aço-carbono com melhores propriedades de transição, para vasos de pressão. ASTM A-516 – Chapas de aço-carbono para vasos de pressão, para temperaturas de serviço baixas e intermediárias. NBR 5001 – Chapas grossas de aço-carbono, para vasos de pressão, para trabalho em temperaturas baixas e moderadas. ASTM A-537 – Chapas de aço-carbono-manganês-silício tratadas termicamente para vasos de pressão. ASTM A-573 – Chapas de aço-carbono estrutural com tenacidade melhorada. ASTM A-662 – Chapas de aço-carbono manganês para vasos de pressão para serviços em temperaturas baixas e moderadas. NBR 5002 – Chapas Grossas de aço-carbono para caldeiras e outros vasos de pressão, para trabalho em alta temperatura.
Chapas Finas	ASTM A-570 – Chapas finas e tiras de aço-carbono laminado a quente de qualidade estrutural. NBR 6649 e NBR 6650 – Chapas finas de aço carbono para usos estruturais.

Fonte: Adaptado da NBR 7821 (1983).

O Quadro 5 apresenta a classificação das chapas recomendadas para construção de tanques, sendo elas classificadas em chapas finas e grossas.

Esta norma traz algumas das especificações necessárias para a fabricação e montagem de tanques segundo a norma brasileira.

### 2.8.3 API 653 - Inspeção, Reparo, Alteração e Reconstrução de Tanques

Segundo a API 653 (1992, p.2):

Esta norma abrange os tanques de aço carbono e baixa liga construídos de acordo com a API 650 e sua antecessora a 12C. esta norma proporciona os requisitos mínimos para a manutenção da integridade de tanques soldados ou rebitados, não refrigerados, pressão atmosférica, acima do solo, após terem entrado em operação. Também abrange a inspeção de manutenção, reparo, alteração, realocação e reconstrução de tais tanques.

A adequacidade ao serviço segundo a API 653 (1992, p.6), “Quando os resultados da inspeção de um tanque mostrarem que ocorreu uma alteração m relação as condições físicas originais, deverá haver uma avaliação para se determinar a adequacidade para o uso contínuo.”

A certificação segundo a API 653 (1992, p.78) deve: “Os tanques reconstruídos de acordo com esta norma requerem documentação de cada reconstrução, e certificação que o projeto, reconstrução, inspeção e testes tenham sido realizados em conformidade com esta norma.”

## 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Este projeto fez uso dos conceitos da Modelagem Matemática visando a simplificação das equações do cálculo da tensão admissível de tanques de armazenamento de produtos químicos e óleo com base nas análises das normas, API 650, NBR 7821 e API 653, mas principalmente na norma *API 650*<sup>5</sup>, que é a norma regulamentadora que fala sobre tanques soldados para armazenamento de petróleo.

Esta simplificação baseou-se nas equações presentes na norma e análises realizadas na mesma, além de algumas informações obtidas por e-mail como tabelas com dimensões dos tanques e informações dos mesmos.

A Tabela 2 apresenta informações sobre os tanques de armazenamento presentes no Terminal I.

---

<sup>5</sup> Esta é a norma que traz todos as equações que serão utilizadas na simplificação.

**Tabela 2 - Especificações dos Tanques do Terminal I**

TERMINAL I						
TAG	DIÂMETRO m.	ALTURA m.	MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO	VOLUME PÓS ARQUEAÇÃO - m <sup>3</sup>	NORMA FABRICAÇÃO
TA-01 - 101	15,9	18,21	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	3.334,06	API-650/NBR 7821
TA-01 - 102	11,42	9,92	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	976,418	API-650/NBR 7821
TA-01 - 103	7,92	9,92	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	-	API-650/NBR 7821
TA-01 - 104	-	-	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	-	API-650/NBR 7821
TA-01 - 105	17	11	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	2.440,20	API-650/NBR 7821
TA-01 - 106	17,153	15,54	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	3.453,26	API-650/NBR 7821
TA-01 - 107	17,13	15,61	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	3.443,26	API-650/NBR 7821
TA-01 - 108	17,149	15,41	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	3.306,66	API-650/NBR 7821
TA-01 - 1501	12,368	13,67	Aço Carbono	ASTM A-36	1.516,89	API-650/NBR 7821
TA-01 - 1502	12,371	13,53	Aço Carbono	ASTM A-36	1.519,33	API-650/NBR 7821
TA-01 - 4001	17,142	18,59	Aço Carbono	ASTM A-36	4.057,78	API-650/NBR 7821
TA-01 - 4002	17,141	18,5	Aço Carbono	ASTM A-36	4.063,59	API-650/NBR 7821
TA-01 - 4003	17,134	18,38	Aço Carbono	ASTM A-36	4.054,06	API-650/NBR 7821
			TOTAL TERMINAL I		<b>32.165,49</b>	

Fonte: Dados da Pesquisa (2019).

A Tabela 3 apresenta informações sobre os tanques de armazenamento presentes no Terminal II.

**Tabela 3 - Especificações dos Tanques do Terminal II**

TERMINAL II						
TAG	DIÂMETRO m.	ALTURA m.	MATERIAL	ESPECIFICAÇÃO	VOLUME PÓS ARQUEAÇÃO - m <sup>3</sup>	NORMA FABRICAÇÃO
TA-02 - 201	13,258	10,07	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	1.357,04	API-650/NBR 7821
TA-02 - 202	13,209	10,15	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	1.347,30	API-650/NBR 7821
TA-02 - 203	12,003	10,15	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	1.120,50	API-650/NBR 7821
TA-02 - 204	12,014	12,005	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	1.121,45	API-650/NBR 7821
TA-02 - 205	17,17	11,02	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	2.502,60	API-650/NBR 7821
TA-02 - 206	17,164	10,98	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	2.483,90	API-650/NBR 7821
TA-02 - 207	9,478	9,46	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	646,35	API-650/NBR 7821
TA-02 - 208	17,99	17,84	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	3.712,56	API-650/NBR 7821
TA-02 - 209	12,01	14,92	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	1.652,66	API-650/NBR 7821
TA-02 - 210	11,98	14,56	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	1.618,29	API-650/NBR 7821
TA-02 - 211	11,995	16,06	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	1.689,44	API-650/NBR 7821
TA-02 - 212	22,368	12,9	Aço Carbono	ASTM A-283 Gr. C	4.959,62	API-650/NBR 7821

			TOTAL TERMINAL II	24.211,70	
--	--	--	-------------------	-----------	--

Fonte: Dados da Pesquisa (2019).

As Tabelas 2 e 3 apresentam: diâmetro, altura, material, especificação, volume pós arqueação e norma de fabricação de 24 tanques presentes em 2 terminais sendo estes tanques 14 para fluidos corrosivos e 10 para fluidos não corrosivos.

Além disso, pode se destacar mais algumas informações destes tanques:

- Os tanques possuem apenas pintura externa. Internamente o fluido fica em contato direto com a chapa de aço.
- Todos os tanques são soldados, nenhum deles é rebitado.
- O giro médio de fluido de cada tanque é 1 mês.
- Os tanques ficam expostos ao ambiente, área aberta, ficando o Terminal I a aproximadamente 300 metros do mar e o Terminal II a 900 metros do mar. Estão expostos ao sol, chuva e ao ambiente salino.
- Nenhum tanque possui aquecimento ou pressurização com nitrogênio, todos são “atmosféricos”.
- Os tanques são avaliados quanto sua integridade física rotineiramente, conforme norma API STD 653. Nessa etapa, são avaliadas se as espessuras mínimas (fundo, costado, teto) estão dentro dos padrões normativos e realizados cálculos estruturais, principalmente do costado. A análise é apenas analítica.

A verificação da interferência do material e do elemento de fixação foi apenas analítica, baseada nas normas técnicas (API 650, NBR7821 e API 653) que apresentam informações sobre o material e sua fixação e nas informações cedidas (por uma empresa do ramo) via e-mail.

Foi realizado uma análise nas equações 1 a 19 retiradas da norma API 650 e citadas neste trabalho, dentre estas as equações da 1 a 14 são focadas principalmente no cálculo da espessura do material.

Dentre estas as equações 15 a 19 focam principalmente na tensão admissível do cascal e a 1 será utilizada como a de espessura. Estas foram o enfoque principal da simplificação.

O Quadro 6 apresenta a ordem das simplificações.

#### **Quadro 6 – Ordem de Simplificação**

<b>Aceleração Especificada Pelo Comprador</b>
---

1	Para $D/H \geq 1,333$ : $N_i = 21,4A_1GDH \left[ \frac{Y}{H} - 0,5 \left( \frac{Y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left( 0,866 \frac{D}{H} \right)$	Para todas as proporções de D / H: $N_c = \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]}$ $t = \frac{4,9D(H-0,3)G}{S_d} + CA$	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2}}{t}$
2	Para $D/H < 1,33$ e $Y < 0,75$ : $N_i = 13,16A_1GD^2 \left[ \frac{Y}{0,75D} - 0,5 \left( \frac{Y}{0,75D} \right)^2 \right]$		
3	Para $D/H < 1,333$ e $Y \geq 0,75$ : $N_i = 6,6A_iGD^2$		
<b>Aceleração Não Especificada Pelo Comprador</b>			
4	Para $D/H \geq 1,333$ : $N_i = 21,4A_1GDH \left[ \frac{Y}{H} - 0,5 \left( \frac{Y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left( 0,866 \frac{D}{H} \right)$	Para todas as proporções de D / H: $N_c = \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]}$ $t = \frac{4,9D(H-0,3)G}{S_d} + CA$	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{N_i^2 + N_c^2 + (A_v N_h)^2}}{t}$
5	Para $D/H < 1,33$ e $Y < 0,75$ : $N_i = 13,16A_1GD^2 \left[ \frac{Y}{0,75D} - 0,5 \left( \frac{Y}{0,75D} \right)^2 \right]$		
6	Para $D/H < 1,333$ e $Y \geq 0,75$ : $N_i = 6,6A_iGD^2$		

Fonte: API 650 (2007).

Partindo destas 12 equações apresentadas no Quadro 6 chegou-se com a utilização da Modelagem Matemática como ferramenta de simplificação a 6 equações para o cálculo da tensão admissível para tanques de armazenamento de produtos químicos e óleo.

Além da simplificação foi desenvolvida uma tabela do Excel que também auxiliou no cálculo da resistência dos tanques de armazenamento de produto químicos e óleo, esta foi desenvolvida já com base nas equações deste estudo.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após a realização das análises na norma, na pesquisa e nas informações cedidas pode-se chegar a algumas informações sobre o material e os elementos de fixação mais indicados.

Os tanques de armazenamento de produtos químico e óleo que são fabricados segundo a API 650 e que foram analisados neste estudo utilizam o aço carbono como material base por este ser mais acessível em valores, e de mais fácil manutenibilidade<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> “Capacidade de um item ser mantido ou recolocado em condições de executar suas funções requeridas, sob condições de uso especificadas, quando a manutenção é executada sob condições determinadas e mediante procedimentos e meios prescritos” (NBR 5642, 1994, p.3).

Estes ainda são soldados ao invés de serem rebitados pois a solda além de ser mais higiênica é melhor na contenção de fluidos, proporcionando menor possibilidade de vazamentos e melhor isolamento do fluido. A simplificação ocorreu a partir da junção das fórmulas seguindo seus pré-requisitos e a partir desta simplificação se deu a montagem da tabela do Excel. A Tabela 4 apresenta a simplificação das fórmulas.

**Tabela 4 – Simplificação**

<b>Aceleração Especificada Pelo Comprador</b>	
<b>D/H ≥ 1,333</b>	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{(21,4A_1GDH \left[ \frac{Y}{H} - 0,5 \left( \frac{Y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left( 0,866 \frac{D}{H} \right))^2 + \left( \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]} \right)^2}}{4,9D(H-0,3)G + CA} + CA$
<b>D/H &lt; 1,333 e Y &lt; 0,75</b>	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{(13,16A_1GD^2 \left[ \frac{Y}{0,75D} - 0,5 \left( \frac{Y}{0,75D} \right)^2 \right])^2 + \left( \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]} \right)^2}}{4,9D(H-0,3)G + CA}$
<b>D/H &lt; 1,333 e Y ≥ 0,75</b>	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{(6,6A_1GD^2)^2 + \left( \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]} \right)^2}}{4,9D(H-0,3)G + CA}$
<b>Aceleração Não Especificada Pelo Comprador</b>	
<b>D/H ≥ 1,333</b>	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{(21,4A_1GDH \left[ \frac{Y}{H} - 0,5 \left( \frac{Y}{H} \right)^2 \right] \tanh \left( 0,866 \frac{D}{H} \right))^2 + \left( \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]} \right)^2 + (A_v N_h)^2}}{4,9D(H-0,3)G + CA}$
<b>D/H &lt; 1,333 e Y &lt; 0,75</b>	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{(13,16A_1GD^2 \left[ \frac{Y}{0,75D} - 0,5 \left( \frac{Y}{0,75D} \right)^2 \right])^2 + \left( \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]} \right)^2 + (A_v N_h)^2}}{4,9D(H-0,3)G + CA}$
<b>D/H &lt; 1,333 e Y ≥ 0,75</b>	$\sigma_T = \frac{N_h \pm \sqrt{(6,6A_1GD^2)^2 + \left( \frac{33,1A_c C_c S G D^2 \cosh \left[ \frac{3,68(H-Y)}{D} \right]}{\cosh \left[ \frac{3,68H}{D} \right]} \right)^2 + (A_v N_h)^2}}{4,9D(H-0,3)G + CA}$

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

A Tabela 4 traz a simplificação de cada uma das 6 equações e as condições para utilização de cada uma delas

A Figura 1 apresenta a tabela elaborada no Excel para o cálculo de tensão admissível com a aceleração já especificada pelo comprador, está já faz utilização da simplificação apresentada na Tabela 4.

**Figura 1 – Tabela para cálculo com aceleração especificada pelo comprador**

Aceleração Especificada Pelo Comprador		
Dados	Unidade	Arco Total de Tensão Combinado na Cascas, MPa
Aceleração do Espectro Impulsivo (Ai)	0,4	%
Peso específico (G)	0,76	g/cm <sup>3</sup>
Diametro Nominal do Reservatório (D)	44	m
Nível de Máxima Líquida (H)	15,8	m
Distancia da Superfície do líquido ao ponto de análise. (Y)	4	m
Produto de força de membrana hidrostática(Nh)	5	mm
Aceleração de resposta espectral do coeficiente .(Ac)	0,4	%
Relação entre o módulo de elasticidade, $\pi$ e a tensão de escoamento. (Cc)	127,99	
Sobrecarga. (S)	981	N/m <sup>2</sup>
Tensão Admissível. (Sd)	160	Mpa
Tolerância a Corrosão. (CA)	2	mm
Para D/H $\geq$ 1,333		
		3422,608474      -3422,048988
Para D/H < 1,333 e Y < 0,75		
		0      0
Para D/H < 1,333 e Y $\geq$ 0,75		
		0      0

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

A Figura 2 apresenta a tabela elaborada no Excel para o cálculo de tensão admissível com a aceleração não especificada pelo comprador, está já faz utilização da simplificação apresentada na Tabela 4.

**Figura 2 – Tabela para cálculo com aceleração não especificada pelo comprador**

Aceleração Não Especificada Pelo Comprador		
Dados	Unidade	Arco Total de Tensão Combinado na Cascas, MPa
Aceleração do Espectro Impulsivo (Ai)	0,4	%
Peso Especifico (G)	0,76	g/cm <sup>3</sup>
Diametro Nominal do Reservatório (D)	44	m
Nível de Máxima Líquida (H)	15,8	m
Distancia da Superfície do líquido ao ponto de análise. (Y)	4	m
Produto de força de membrana hidrostática(Nh)	5	mm
Aceleração de resposta espectral do coeficiente (Ac)	0,4	%
Relação entre o módulo de elasticidade, $\pi$ e a tensão de escoamento. (Cc)	127,99	
Sobrecarga. (S)	981	N/m <sup>2</sup>
Tensão Admissível. (Sd)	160	Mpa
Tolerância a Corrosão. (CA)	2	mm
Coeficiente Vertical de Aceleração de Terremoto (Av)	0,8	%
Produto de Força de Membrana Hidrostática (Nh)	15	N/mm
Para D/H $\geq$ 1,333		
		3422,60854      -3422,049054
Para D/H < 1,333 e Y < 0,75		
		0      0
Para D/H < 1,333 e Y $\geq$ 0,75		
		0      0

Fonte: Dados da pesquisa (2019).

As Tabelas foram elaboradas no Excel e tem como principal objetivo de facilitar o cálculo da tensão no costado do tanque. Estas foram testadas baseadas em dados hipotéticos retirados da internet.

Estas são de fácil funcionamento devem ser preenchidos os valores dos dados e a partir disto ela faz os testes necessários e da a resposta no local correto conforme a especificação de D/H e Y. Sendo que além disto elas são separas em aceleração não especificada pelo comprador e aceleração especificada pelo comprador.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Um tanque de armazenamento pode apresentar falhas por vários motivos, estas falhas podem ocasionar principalmente vazamentos de produto e muitas vezes níveis altos de poluição dependendo da proporção do mesmo. Estes vazamentos podem ser evitados com a manutenção dos tanques e análises que devem ser realizadas no mesmo com frequência.

A cálculo da tensão admissível do costado do tanque tem suma importância em suas inspeções, este pode apresentar e indicar qual a tensão está atuando em cada nível de liquido e cada preenchimento de tanque.

Utilizou-se a simplificação como ferramenta de junção de equações. Esta junção se utilizou das 12 equações iniciais e a transformou em apenas 6.

Estas seis foram utilizadas no desenvolvimento das tabelas que foram elaboradas no Excel, o que facilitou muito o desenvolvimento do cálculo. Estas tabelas contém o cálculo da tensão no cascal, ou seja, a tensão admissível no costado do tanque.

Estas tabelas trazem um estudo preliminar sobre a tensão, estudando somente um dos pontos de tensão do tanque. Nesse ponto de vista a pesquisadora pretender continuar a pesquisa e aperfeiçoar as tabelas em um futuro estudo, tendo este como projeto base.

## REFERÊNCIAS

API 650. **Tanques de Aço Soldados para Armazenamento de Petróleo**. Washington: Energi API, 2007.

API 653. **Inspeção, Reparo, Alteração e Reconstrução de Tanques**. Washington: Energi API, 1992.

ARINOX. **Os Tipos de Aço Inox**. 2014. Disponível em: <<http://www.arinox.com.br/blog/os-tipos-de-aco-inox/>>. Acesso em: 21 maio 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7821**: Tanques soldados para armazenamento de petróleo e derivados. Rio de Janeiro: ABNT, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), **NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, Copyright © 1990, ABNT–Associação Brasileira de Normas Técnicas Printed in Brazil/Impresso no Brasil Todos os direitos reservados Sede: Rio de Janeiro Av. Treze de Maio, 13 - 28º andar CEP 20003-900 - Caixa Postal 1680 Rio de Janeiro - RJ Tel.: PABX (021) 210 -3122 Telex: (021) 34333 ABNT - BREndereço Telegráfico: NORMA TÉCNICA ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas Palavras-chave: Confiabilidade. Manutenibilidade 37 páginas NBR 5462 NOV. 37 p.

ASKELAND, Donald R.; PHULÉ, Pradeep P. **Ciência e Engenharia dos Materiais**. São Paulo: Cengage Learning, 2008.

BARBOSA, J. C. **Modelagem Matemática: O que é? Por que? Como?** Veritati, n. 4, 2004.

BASSANEZI, Rodney Carlos. **Ensino-Aprendizagem com Modelagem Matemática**. 3. ed. São Paulo: Contexto, 2013.

BEER, Ferdinand P; JOHNSTON JUNIOR, E. Russell; DEWOLF, John T. **Resistência dos materiais**. Porto Alegre: Bookman, 2010.

BIEMBENGUT, Maria Salett; HEIN, Nelson. **Modelagem Matemática no Ensino**. 2. ed. São Paulo: Contexto, 2002.

BRANDI, Sérgio Duarte. Classificação dos processos de soldagem. In: WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo: Blucher, 2015. Cap. 1. p. 1-8.

BROCKMAN, Jay B. **Introdução a Engenharia**. Rio de Janeiro: Ltc, 2010.

CAPMAC INDUSTRY. **Pinças de rebiteagem**. 2019. Disponível em: <<http://www.capmac-industry.com.br/rebiteagem-capmac-industry/riveting-guns/>>. Acesso em: 21 maio 2019.

CARBÓ, Héctor Mario. **Aços Inoxidáveis: aplicações e especificações**. São Paulo: ArcelorMittal Inox Brasil, 2008.

CHIAVERINI, Vicente. **Aços e Ferros Fundidos**. 7. ed. São Paulo: Abm, 2012.

COSTALONGA, Ademir Geraldo Cavallari; FINAZZI, Guilherme Antonio; GONÇALVES, Marco Antonio. **Normas de Armazenamento de Produtos Químicos**. 2010. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Higiene e Segurança, Universidade Estadual Paulista, Araraquara, 2010.

CRESWELL, J. W. **Projeto de pesquisa: métodos qualitativo, quantitativo e misto**. Porto Alegre: Artmed, 2007.

CUSTÓDIO, Aline Ferrão. **Modelagem e simulação do processo de separação de óleo de soja-Hexano por evaporação**. 2003. 0 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia

Química, Departamento de Processos Químicos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

GALVAMINAS. **Aço carbono: o que é?** 2019. Disponível em: <<http://www.galvaminas.com.br/blog/aco-carbono-o-que-e/>>. Acesso em: 21 maio 2019.

GONÇALVES, Marcelo Giglio. **Revista Monitoramento e Controle de Processo**. Rio de Janeiro; Petrobras: SENAI/DN, 2003.

HIBBELER, Russell Charles. **Resistência dos materiais**. 7. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2010.

IPT - INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SP. **Combustíveis Sob Proteção**. São Paulo: 2010. Disponível em: <[http://www.ipt.br/noticias\\_interna.php?id\\_noticia=193](http://www.ipt.br/noticias_interna.php?id_noticia=193)>. Acesso em: 10 maio 2019.

LUIZ, Elisete Adriana José; DE CÓL, Lidiane. **Interdisciplinariedade Entre As Disciplinas De Cálculo Diferencial Integral E Estatística No Curso De Engenharia**. Colóquio Internacional de Educação, v. 2, n. 1, p. 877-886, 2014.

MECÂNICA INDUSTRIAL. **O que são ligas de aço**. 2019. Disponível em: <<https://www.mecanicaindustrial.com.br/545-o-que-sao-ligas-de-aco/>>. Acesso em: 21 maio 2019.

NUNES, Laerce de Paula. **Materiais: Aplicações de engenharia, seleção e Integridade**. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

ÓLEOS PARA TUDO. **Óleo vegetal: Saiba os seus benefícios para saúde e beleza!** 2016. Disponível em: <<http://oleosparatudo.com/oleo-vegetal/>>. Acesso em: 21 maio 2019.

PEREIRA, Luis Dias. **Manual para dimensionamento de tanques metálicos**. 2013.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michéle. **Estruturas de Aço: Dimensionamento pratico de acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2014.

PROVENZA, Francesco. **Construções Metálicas**. São Paulo: Pro-tec, 1985.

RESCUE. **Palestra Manuseio, Armazenagem e Transporte Produtos Químicos Perigosos**. 2019. Disponível em: <<https://www.rescuecursos.com/palestra-manuseio-armazenagem-e-transporte-produtos-quimicos-perigosos/>>. Acesso em: 21 maio 2019.

SATO, Armando Kenzo. **Projeto De Um Tanque De Armazenamento Atmosférico Com Teto Flutuante Para Estocagem De Gasolina**. 2015. 67 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Unesp, Guaratinguetá, 2015.

SILVA, Marcela Lélis da; DUARTE, Madrith Sthel Costa; CARVALHO, Gilson Lemos de. **Tratamento Anticorrosivo da Superfície Interna em Tanques de Armazenamento de Derivados do Petróleo com Resina Epóxi**. 2016.

VIACARREIRA. **Curso de soldador: conheça os 5 melhores.** 2019. Disponível em: <<https://viacarreira.com/curso-de-soldador-conheca-os-5-melhores/>>. Acesso em: 21 maio 2019.