

# PROJETO E ESTUDO DA FABRICAÇÃO DE VASO DE PRESSÃO ESFÉRICO

**Valter Firmino da Silva Junior**

Valt.jr.1@gmail.com

**Resumo.** No presente trabalho foram realizados o projeto e estudo da fabricação e montagem de um vaso de pressão esférico para armazenamento de GLP. Para tanto, foi estudado principalmente o Código ASME - que traz especificações de projeto e fabricação de vasos de pressão - e contatados profissionais e empresas deste segmento. No campo de projeto, foram dimensionadas as estruturas do costado e das colunas de sustentação da esfera para uma capacidade de 10.000 m<sup>3</sup> e selecionaram-se materiais para as referidas estruturas. Ao passo que no campo da fabricação, são abordados os processos de corte e conformação dos gomos que compõem a esfera. E na montagem são abordadas as etapas principais da montagem, propriamente dita, da esfera em seu local de uso, sendo enfatizado o processo de soldagem; são abordados ainda o tratamento térmico e o ensaio hidrostático da esfera. Os resultados obtidos para as dimensões do costado e das colunas de sustentação da esfera estão coerentes com valores típicos de esferas. Os materiais selecionados também são típicos de esferas e cobertos pelo código ASME. No processo de manufatura, o corte será realizado por meio do processo de oxicorte, com auxílio de máquina CNC; a conformação será realizada por prensagem em uma prensa hidráulica. Ainda que neste tenham sido tratadas as partes essenciais de uma esfera (o costado e o suporte), uma análise mais aprofundada seria requerida nestas partes bem como também poderiam ser tratados os demais acessórios de uma esfera.

**Palavras chave:** Esfera, vaso de pressão, fabricação, GLP.

## 1.Introdução

### 1.1.Objetivos

São objetivos deste trabalho a realização do projeto e estudo da fabricação e montagem de um vaso de pressão esférico para armazenamento de GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Tendo em vista que o projeto de uma esfera completa é decomposta em vários outros projetos para cada componente, neste projeto dá-se ênfase ao costado e às colunas de sustentação do vaso, que constituem as partes essenciais de uma esfera. Tal projeto visa atender à demanda de refinarias de petróleo ou de uma unidade de distribuição deste gás.

### 1.2.GLP (Gás Liquefeito de Petróleo)

O GLP, também conhecido por gás de cozinha, é composto principalmente de Butano e Propano. A LIQUIGÁS - distribuidora da Petrobrás - especifica as seguintes faixas de composições em volume: Propano, 40 - 60 %; Butano, 40 - 60 %; Etano e Hidrocarbonetos mais leves, máximo de 11%; Pentano e hidrocarbonetos mais pesados, 0,5 - 2,0 %.

Após liquefeito e armazenado sob pressão aproximada de 1,8 MPa, tem seu volume reduzido em cerca de 280 vezes, o que representa um significativo “ganho de espaço” caso este fosse armazenado no estado gasoso. Em operação, a esfera é abastecida até 85% de sua capacidade, sendo os demais 15% preenchidos pelo vapor.

### 1.3.VASOS DE ARMAZENAMENTO

Os vasos, reservatórios ou tanques de armazenamento, são vasos de pressão que se destinam a armazenar fluidos geralmente à pressão atmosférica ou a pressões superiores a esta. Estes vasos podem ter dimensões variadas, indo desde poucos centímetros até cerca de 50 m de diâmetro (Chattopadhyay, 2005). Sua fabricação deve satisfazer a normas técnicas específicas bem como receber inspeções periódicas a fim de segurança. Em termos de projeto, são classificados como tanques de armazenamento os reservatórios submetidos a uma pressão relativa inferior a 0,1 Mpa, os quais são projetados de acordo com o código API 620; vasos pressurizados (ou despressurizados) acima desta pressão relativa, seguem o código ASME.

Dentre os tipos de vasos de armazenamento, o mais recomendado para armazenar gás é o esférico, ilustrado na Figura 1 . Assim, boa parte das empresas e indústrias que utilizam vasos para armazenamento de gás fazem uso do tipo esférico. Contudo, esferas apresentam maior custo de fabricação, assim praticamente não são usadas em pequenos volumes; já para volumes maiores tornam-se viáveis, pois os altos custos são compensados pela maior capacidade de armazenamento.

#### 1.3.1.Aplicações

A principal aplicação de esferas no país é para armazenar GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Contudo, também são empregadas para armazenar outros Hidrocarbonetos separadamente como os C3 e os C4, e em raríssimos casos em aplicações criogênicas, sendo que para este último caso é mais comum o emprego de tanques cilíndricos, tendo em vista a maior complexidade de fabricação de reservatórios para esta aplicação e por requerer materiais especiais para resistir às baixas temperaturas e um isolante térmico especial (SHEN).

De forma geral, os principais produtos armazenados são: propano, butano, gás natural, oxigênio, nitrogênio, hidrogênio, etileno, hélio e argônio (MOSS, 2004).

No Estado de São Paulo, por exemplo, são encontradas esferas na REPLAN (Paulínia), na REVAP (São José dos Campos) e também nas unidades da Transpetro em Santos, no ABC e em Barueri, porém esta fora de operação.



Figura 1. Vaso de pressão esférico (WIKIPÉDIA, 2010).

### 1.3.2.Dados do vaso do projeto

A Tabela 1 mostra dados do vaso esférico a ser projetado para uma unidade armazenamento.

Tabela 1. Dados de projeto do vaso esférico. (Fonte de dados do GLP: (LIQUIGÁS, 2011))

| <b>Característica</b>           | <b>Valor</b>                     |
|---------------------------------|----------------------------------|
| Produto armazenado              | GLP (Gás Liquefeito de Petróleo) |
| Capacidade                      | 10.000 m <sup>3</sup>            |
| Pressão                         | 1,8 MPa                          |
| Temperatura                     | 27 °C                            |
| Massa específica do GLP         | 508 kg/ m <sup>3</sup>           |
| Massa específica do GLP (vapor) | 2,05 kg/ m <sup>3</sup>          |

## 2.Revisão do material técnico

As principais referências bibliográficas empregadas para orientação técnica deste projeto são (MOSS, 2004) e (ASME, 2010). Aquela é um guia para projeto de vaso de pressão e nela consta uma seção específica para fabricação de esferas. Já o Código ASME é a principal norma a ser seguida para o projeto, fabricação, inspeção e testes de vasos de pressão, sendo a seção VIII Divisões 1 e 2 as principais partes a serem consultadas.

## 3. Metodologia

As informações sobre projeto e fabricação de esferas foram coletadas a partir dos seguintes meios:

- Reuniões com o Orientador deste projeto, conversas com demais professores ligados as áreas Fabricação Mecânica e Mecânica dos Sólidos e técnicos de fabricação.

- Profissionais da área: marcou-se uma reunião para discussão sobre o projeto e fabricação de esferas, a qual foi a principal fonte do trabalho. Presentes: Engenheiros Chieh Pin Shen, Francisco Ruiz Dominguez, Abilio Ascar Junior e Valter Firmino da Silva Junior.

- Referências bibliográficas: Normas técnicas pertinentes, sendo o código ASME a principal delas, e um manual de projeto de vaso de pressão (MOSS, 2004).

Com relação às ferramentas para tratamento de dados foi usado o programa SCILAB para realização de cálculos.

Demais ferramentas empregadas para realização deste projeto foram as técnicas de metodologia de projeto, tais como cronograma de atividades, fluxograma de etapas do processo do projeto e espiral de projeto.

#### 4.Descrição de etapas do trabalho

##### 4.1.Descrição de atividades

As principais atividades realizadas no projeto foram: levantamento de dados e condições de armazenamentos de GLP, levantamento de normas de projeto, dimensionamento geométrico e estrutural do costado e das colunas de sustentação da esfera, estudo da conformação e corte das chapas que compõem os gomos da esfera, estudo da soldagem e montagem de esferas, estudo do tratamento térmico da esfera após soldagem e ensaio hidrostático.

##### 4.2. Fluxograma de processos

As etapas de desenvolvimento do projeto foram apresentadas nas Figura 2 a Figura 7. Faz-se a ressalva de que algumas etapas são desenvolvidas simultaneamente ou com interação entre os blocos de atividades ou ainda de forma iterativa. O termo mais adequado para descrever o andamento do projeto é a espiral de projeto.

A esfera foi decomposta em componentes, conforme Figura 2, sendo que no presente trabalho não foram projetados os acessórios da esfera, mais detalhes destes componentes constam em 5.3 Demais componentes - acessórios.

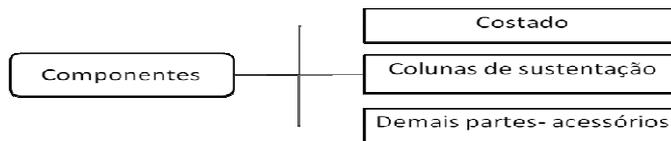


Figura 2. Componentes principais da esfera.

Na Figura 3 tem-se o fluxograma das etapas percorridas pelo presente projeto.

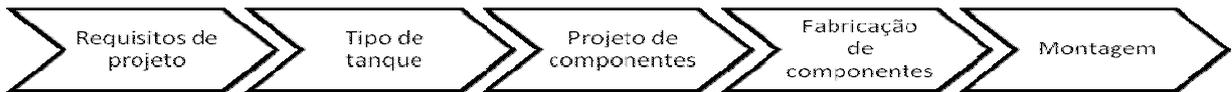


Figura 3. Fluxograma: projeto, fabricação e montagem da esfera.

A Figura 4 ilustra os passos do desenvolvimento do projeto do costado.

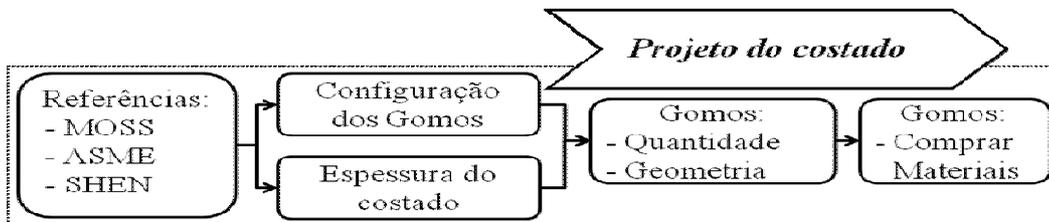


Figura 4. Fluxograma: projeto do costado.

A Figura 5 ilustra os passos do desenvolvimento do projeto das colunas.

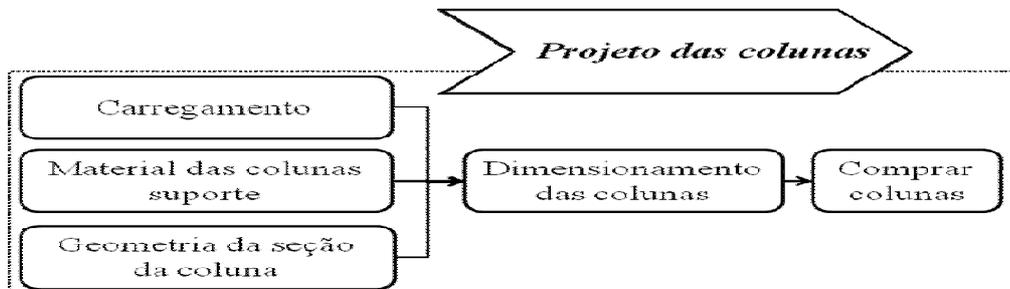


Figura 5. Fluxograma: projeto das colunas.

A Figura 6 ilustra os passos do desenvolvimento da fabricação do costado.

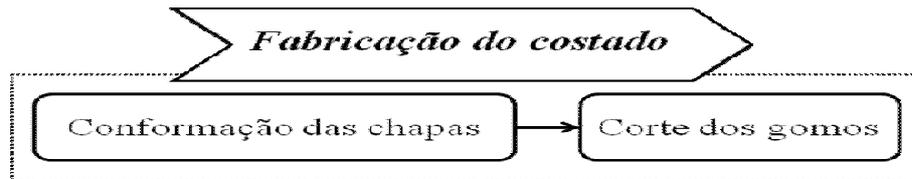


Figura 6. Fluxograma: fabricação do costado.

A Figura 7 ilustra o caminho a ser percorrido para montagem da esfera.

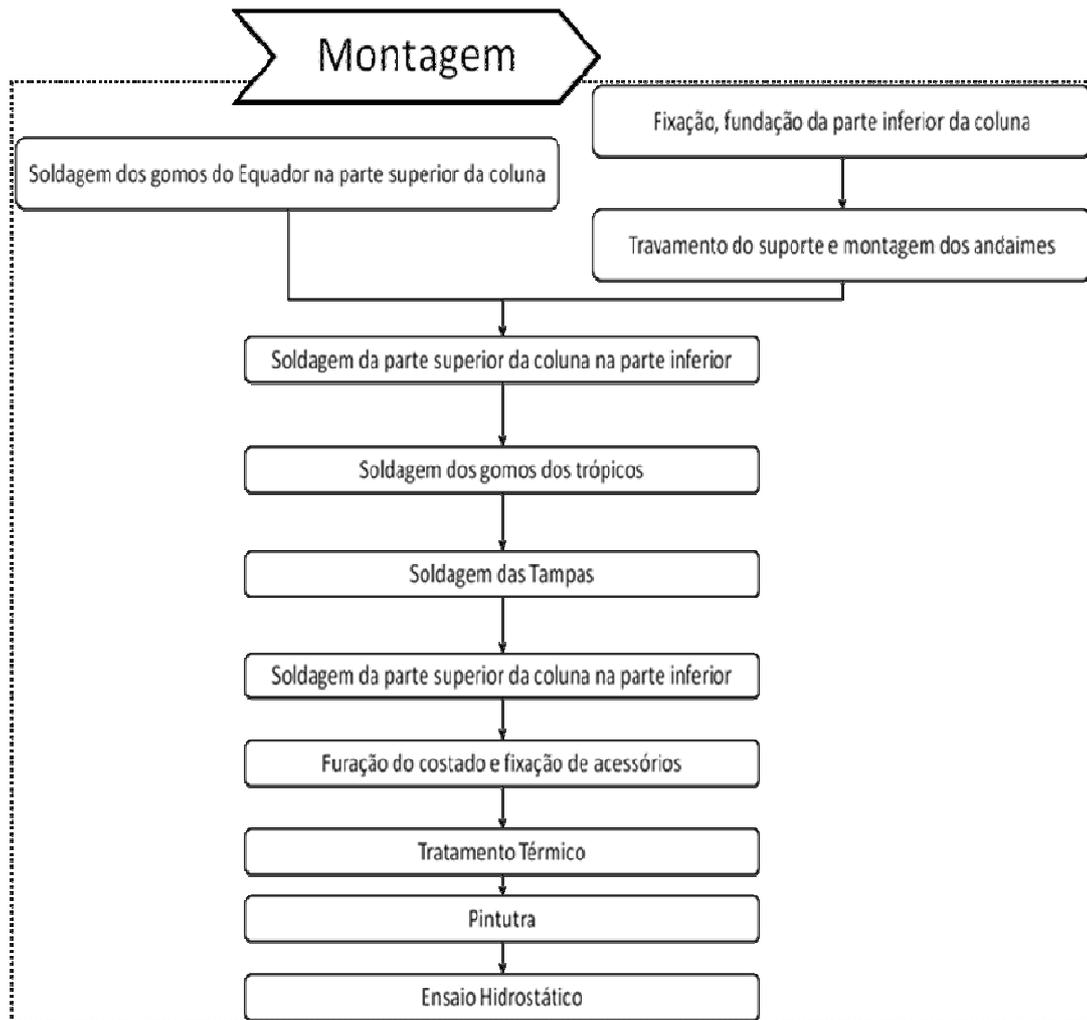


Figura 7. Fluxograma: Montagem da esfera.

## 5. Descrição de componentes de uma esfera

### 5.1. Costado

A parede da esfera, também conhecida por costado, é a parte principal do vaso de armazenamento tendo em vista que nela fica contido o fluido armazenado e por ser a parte mais complexa para fabricar e montar. Ela pode ser feita de parede simples ou parede dupla dependendo do produto armazenado, sendo as primeiras destinadas a armazenar fluidos à temperatura ambiente ao passo que as últimas destinam-se a armazenar fluidos a baixas temperaturas, como em aplicações criogênicas (MOSS, 2004).

## 5.2.Suporte

O suporte da esfera é constituído basicamente pelas colunas de sustentação do vaso e de tirantes.

As colunas do vaso são tubos verticais que sustentam o vaso, são encontradas em torno de 10 colunas para cada esfera de capacidades usuais (MOSS, 2004). Cada coluna pode ser feita inteiriça ou dividida em uma parte superior e outra inferior, sendo este caso o mais freqüente e que é tratado neste trabalho. Complementa-se ainda que a coluna inferior serve de fundação à estrutura do vaso como um todo.

Neste último caso, a parte de cima de cada coluna superior é soldada no vaso na altura da circunferência horizontal de maior diâmetro, nos gomos do Equador, ao passo que a parte inferior desta coluna é soldada na coluna inferior que, por sua vez, está fixa no solo por meio de uma base de concreto.

## 5.3.Demais componentes - acessórios

Cada esfera apresenta em torno de 10 bocais. Além dos bocais de entrada e saída de gás há bocais de instrumentação para medição de nível, temperatura e pressão. Os bocais possuem um projeto de fabricação a parte, eles são feitos do mesmo material do vaso e normalmente são forjados e importados. Eles são soldados nos respectivos furos do vaso. Os bocais de entrada e saída de gás têm ainda em sua outra extremidade um flange soldado (SHEN).

São encontrados no costado do vaso ainda os seguintes acessórios: boca de visita, válvulas, flanges, bombas, tomadores de amostra, distribuídos em diferentes alturas da esfera longo da esfera usados para análise de características físico-químicas do gás.

## 6.Projeto

A principal norma a ser seguida para projeto e fabricação de esferas é o código ASME Seção VIII Divisões 1 e 2, sendo que esta última cobre maior parte das informações de projeto.

A principal aplicação de esferas no país é para armazenar GLP (Gás Liquefeito de Petróleo). Elas o conservam a temperatura ambiente e, para mantê-lo liquefeito, ele é armazenado a uma pressão aproximada de 1,8 Mpa.

As esferas de GLP típicas apresentam capacidade de 3200m<sup>3</sup> e 1600m<sup>3</sup>, apresentando diâmetro em torno de 18250 mm e 14500 mm, respectivamente. Também são construídas esferas com diâmetros próximos a 11, 14 e 20 e 22 m.

Neste projeto foi realizado um dimensionamento para uma capacidade de 10000 m<sup>3</sup>, que implicou num raio de 13365 mm, relativamente bem maior às convencionais, tendo em vista que quanto maior é a capacidade da esfera mais viável é para o usuário empregar este tipo de vaso.

Os projetos de cada componente da esfera foram separados entre a parede do costado e as colunas do suporte, os demais componentes e acessórios da esfera não foram abordados aqui, tendo em vista a extensão do assunto, pouco tempo disponível e pequena equipe de trabalho. Também se realizou um estudo da configuração de gomos que seria mais adequada para construção da esfera conforme o item seguir.

### 6.1.Concepção geométrica

#### 6.1.1.Tipos de esferas/ método de fabricação

As esferas (em sentido restrito, considerando aqui apenas o costado) são fabricadas a partir de cunhas (também chamadas de gomos ou pétalas) e segmentos esféricos obtidos de chapas que foram conformadas previamente, estes “pedaços” são então soldados, perfazendo assim a esfera. Na Figura 8 estão ilustradas tipos de esferas dependendo do tamanho e do arranjo dos gomos. Acrescenta-se ainda às esferas hastes como suporte conforme ilustrado na Figura 1.

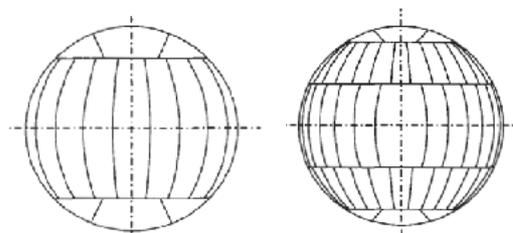


Figura 8. Esferas tipo Meridiano, para “pequenos” e “grandes” diâmetros, respectivamente. Adaptado de (MOSS, 2004).

#### 6.1.2.Definição da geometria dos gomos

*Tipo de esfera*

Considerando que a capacidade da esfera do projeto é um pouco maior do que aquela usualmente empregada no país, foi proposto também outro tipo de esfera baseado no tipo “Meridiano para grandes diâmetros” (ver Figura 8), porém com algumas modificações na geometria dos gomos.

A Tabela 2 mostra uma comparação entre duas propostas de tipos de esferas analisados para construção do vaso. A alternativa 1 é a aplicação da esfera do tipo Meridiano que é indicada para grandes diâmetros e a alternativa 2 é a aplicação da esfera tipo Meridiano mas com 4 trópicos em vez de 2 como na 1ª alternativa.

Tabela 2 – Comparação de alternativas para geometria da esfera.

| <b>Alternativa 1 (1 EQ, 2 TR e 2 TA)</b>            | <b>Alternativa 2 (1 EQ, 4TR e 2 TA)</b>                |
|---|--|
| Requer menos gomos                                  | Requer mais gomos                                      |
| Requer maior extensão de chapas                     | Gomos menores  |
| Maiores dimensões dos gomos                         | Facilita o processo de conformação e transporte        |
| Requer mais ferramentais                            | Requer um único ferramental                            |
| Contorno dos gomos das tampas de difícil fabricação | Tampas são compostas unicamente de uma calota esférica |

### Dimensões dos gomos

Assim, uma vez definido o tipo de esfera a ser empregada buscou-se dimensionar as larguras dos gomos dos diferentes segmentos da esfera para que estas fossem iguais, a fim de permitir o emprego de uma única ferramenta, cuja matriz apresentaria uma largura igual àquela dos gomos. Com relação aos comprimentos circunferenciais dos gomos, buscou-se comprimentos que permitissem obter um comprimento da tampa (que será feita inteiriça) igual, ou relativamente próximo, às larguras dos gomos, também com a finalidade de se empregar uma única ferramenta.

Salienta-se que a partir destas dimensões circunferenciais pensou-se em planificar a superfície esférica de cada gomo a fim de que se obtivessem as dimensões principais aproximadas das chapas a serem compradas ou até mesmo para se obter o contorno de um "blank", tendo em vista que se cogitou a realização do corte dos gomos antes da conformação, o que se mostrou inviável. A Tabela 3 mostra a quantidade e dimensões de largura e comprimento circunferenciais dos gomos.

Tabela 3 – Quantidade e dimensões de largura e comprimento circunferenciais dos gomos.

| Tipo de segmento do gomo | Quantidade (ni) | Dimensões por segmento                |   | Dimensões dos gomos   |                   |
|--------------------------|-----------------|---------------------------------------|---|-----------------------|-------------------|
|                          |                 | Raio da circunferência máxima(ri)(mm) | Altura da circunferência máxima(hi)(mm) | Comprimento (li) (mm) | Largura (wi) (mm) |
| Equador                  | 28              | 13365                                 | 0                                       | 10164                 |                   |
| Trópico inferior         | 26              | 12410                                 | 4884                                    | 7192                  | 3000              |
| Trópico superior         | 17              | 8133                                  | 10605                                   | 7192                  |                   |
| Tampa                    | 2               | 1490                                  | 13281                                   | 3057                  |                   |

## 6.2.Costado

### 6.2.1.Introdução

Além das dimensões definidas para os gomos no item 6.1.2 Definição da geometria dos gomos, a dimensão principal a ser dimensionada é a espessura da parede da esfera, que é composta pelos gomos. Desse modo, esta etapa é determinante para que a parede da esfera resistir à pressão exercida pelo fluido. A seguir é realizado o cálculo da espessura para aços típicos para construção de esferas, a fim de que esta suporte a pressão exercida pelo GLP.

### 6.2.2.Desenvolvimento

A Divisão 1, Seção VIII do código ASME, determina que a espessura da parede da esfera (t) seja determinada a partir da expressão a seguir:

$$t = \frac{P \cdot r / 2}{\sigma \cdot E - a \cdot P}$$

### 6.2.3. Conclusões

A Tabela 4 mostra um resumo dos resultados principais obtidos do dimensionamento da espessura do costado bem como do material selecionado para esta estrutura. Comenta-se que valor da espessura obtida está coerente com valores típicos de espessura para vasos de pressão.

Tabela 4 - Resultados do dimensionamento do costado.

| Símbolo        | Significado                         | Valor        | Unidade |
|----------------|-------------------------------------|--------------|---------|
| -              | Material selecionado                | SA 516 Gr 70 | -       |
| $\sigma_{esc}$ | Tensão de escoamento deste material | 220          | MPa     |
| t              | Espessura da parede da esfera       | 46           | mm      |
| r              | Raio da esfera                      | 13365        | mm      |
| $\varepsilon$  | Eficiência da união soldada         | 1            | -       |

## 6.3. Coluna do suporte

### 6.3.1. Introdução

O suporte do vaso é parte essencial do projeto, tendo em vista que todo o peso do líquido e o peso próprio do costado e das colunas são suportados por esta estrutura.

### 6.3.2. Desenvolvimento

As colunas do suporte são dimensionadas por flambagem e, em seguida, é verificado se tensão atuante não supera o limite de escoamento do seu material. A carga em cada coluna a ser considerada deve levar em consideração tanto o peso do fluido quanto os pesos próprios da esfera, da coluna e de acessórios do vaso.

### 6.3.3. Conclusões

Portanto, das análises realizadas pelos critérios de flambagem, escoamento e massa de material foram obtidos os diâmetros e espessuras do tubo para cada material, conforme apresentado na Tabela 5. Destes materiais, seleciona-se o ASTM A572-A-Gr 50 que apresenta qualidade e custo intermediários dentre os três materiais considerados.

Tabela 5 - Dimensões do tubo para os materiais considerados.

| Material          | Diâmetro (mm) | Espessura (mm) |
|-------------------|---------------|----------------|
| ASTM A36          | 382           | 16             |
| ASTM A572-A-Gr 50 | 432           | 11             |
| USI-SAR-60T       | 482           | 7              |

## 6.4. Especificação de Material

O principal fabricante de chapas espessas (laminadas) no país é a USIMINAS, devido ao porte desta empresa e da tradição dela neste mercado, sendo a fornecedora de matéria-prima para as empresas fabricantes de esferas. Assim, a requisição de materiais para o costado e para as colunas de sustentação da esfera seguiu o catálogo deste fabricante.

### Costado

Pensando na otimização dos gomos, no melhor aproveitamento de material, e no emprego de uma única ferramenta para conformar as chapas, conforme discutido em Dimensões dos gomos, chegou-se às dimensões apresentadas para as chapas a serem compradas para a construção dos gomos do costado, mostradas na Tabela 6.

Tabela 6 - Especificação de material: chapas dos gomos.

| Tipo de segmento do gomo | Material     | Quantidade | Dimensões        |              |                             |
|--------------------------|--------------|------------|------------------|--------------|-----------------------------|
|                          |              |            | Comprimento (mm) | Largura (mm) | Espessura <sup>1</sup> (mm) |
| Equador                  |              | 28         | 10264            |              |                             |
| Trópico inferior         | SA 516 Gr 70 | 26         | 7292             | 3100         | 47                          |
| Trópico superior         |              | 17         | 7292             |              |                             |
| Tampa                    |              | 2          |                  | 3157         |                             |

<sup>1</sup> O acréscimo de 1 mm (SHEN) na espessura obtida de projeto deve-se à redução de espessura no processo de conformação.

### Colunas do suporte

Conforme discutido nas hipóteses do dimensionamento das colunas do suporte, o material do tubo da parte superior da coluna é o próprio material empregado no costado (SA 516 Gr 70), a fim de propiciar uma boa soldabilidade na união entre os gomos do Equador e esta parte das colunas.

Tabela 7 - Especificação de material: tubos das colunas.

| Parte da coluna | Material     | Quantidade | Diâmetro externo (mm) | Espessura (mm) | Altura (mm) |
|-----------------|--------------|------------|-----------------------|----------------|-------------|
| Superior        | SA 516 Gr 70 | 28         | 432                   | 11             | 3342        |
| Inferior        | A572-A-Gr 50 |            |                       |                | 13365       |

## 7. Estudo da Fabricação do costado

### 7.1. Descrição das etapas do processo

As etapas principais de fabricação das esferas são descritas a seguir:

1. Aquisição de material: As chapas retangulares que formarão os gomos do costado já serão compradas laminadas do fornecedor (USIMINAS) nas dimensões especificadas na Tabela 6. (Salienta-se que os tubos já serão comprados nas dimensões de uso, indo diretamente para o local de montagem da esfera).

2. Corte: Cada “blank” é cortado e chanfrado por meio do processo de oxicorte. Uma máquina CNC é empregada para orientar a trajetória de corte do bico do maçarico.

3. Conformação: As chapas são conformadas a frio, cada gomo é prensado num processo praticamente artesanal até adquirir a forma superficial de uma cunha esférica, conferida com um gabarito.

## 8. Estudo da Montagem

### 8.1. Descrição das etapas do processo

As principais etapas do processo de montagem das esferas na unidade em que esta será instalada foram esquematizadas na Figura 7. A seguir há uma descrição das etapas do processo.

1. Cada gomo do equador é soldado a uma parte superior da coluna de sustentação da esfera.

2. As peças são transportadas ao local da instalação, onde é feita a montagem das esferas. A parte inferior de cada coluna é fixada no chão e trava-se a estrutura por meio de tirantes, compondo assim o suporte do vaso. Em seguida são montados os andaimes sobre a estrutura formada. Os gomos do Equador são previamente soldados à parte superior das colunas de sustentação e, então, são erguidos por equipamentos de levantamento de carga, colocados em sua posição final e soldada a parte superior da coluna à parte inferior desta.

4. Os gomos dos Trópicos são içados, posicionados e soldados, gomo por gomo, aos demais gomos já fixos na estrutura.

5. São erguidos e soldados os gomos das tampas inferior e superior, respectivamente.

6. São realizados os furos, localizados principalmente nas Tampas de cima e de baixo, onde serão instalados os demais componentes do costado ou para aberturas de visita da esfera.

7. São soldados ou rosqueados os demais componentes nos furos.

8. É realizado o tratamento térmico para alívio de tensões na estrutura, descrito em 8.3 PWHT (Postweld Heat Treatment).

9. Quando especificadas em projeto, são realizadas uma pintura externa e um revestimento interno do vaso. Para a esfera deste projeto recomenda-se o emprego de pintura externa, porém esta foi especificada.

10.É realizado um teste hidrostático na esfera.

## 8.2.Soldagem

O tipo de união predominante na esfera é união soldada de topo, também são encontradas uniões parafusadas e rebitadas principalmente nos acessórios da esfera. Comenta-se ainda que a montagem é realizada por uma empresa especializada, não sendo portanto a mesma empresa fabricante da esfera.

A solda especificada pelo Código ASME são do tipo a arco ou a gás, sendo que o tipo comum de soldagem empregada é por arco elétrico.

O chanfro a ser empregado nos gomos do vaso será do tipo “X” e será realizado por uma máquina chanfradora - a ser especificada - após o processo de corte dos gomos. Sendo que esta forma e as dimensões das extremidades do chanfro são tais que permitem a completa fusão e penetração da junta, conforme determina o código ASME.

As principais uniões soldadas da esfera são entre as seguintes partes:

- Gomo-gomo: enquadram-se neste item todos os tipos de gomos (Equador, Trópicos e Tampas);
- Gomo do Equador - parte superior da coluna;
- Parte inferior da coluna com a parte superior da coluna.

## 8.3.Pwht (postweld heat treatment)

Consiste no tratamento térmico realizado após soldagem, empregado para melhorar a resistência a fraturas frágeis em uniões soldadas, por meio da atenuação das tensões residuais, e aumentar a resiliência do metal na zona termicamente afetada pela solda (ZTA). Conforme (MOSS, 2004) as esferas fabricadas em aço carbono com espessuras acima de aproximadamente 37,5 mm requerem tratamento térmico após soldagem, portanto a esfera de projeto vai requerer este tratamento.

## 8.4.Ensaio hidrostático

As esferas devem passar por um ensaio hidrostático, sendo que a pressão mínima em que o fluido de teste deve impor ao vaso é obtida de expressão indicada pela (ASME, 2010).

Após o ensaio é realizado um exame visual para verificar se há vazamentos nas juntas, conexões e em todas as regiões submetidas a altas tensões tais como juntas das tampas e regiões ao redor dos bocais (ASME, 2010). Demais especificações do ensaio como preparação do teste e procedimento são fornecidas pelo código ASME Seção VIII Divisão 2.

## 9.Conclusões

Os resultados obtidos para as dimensões do costado e das colunas de sustentação da esfera estão coerentes com valores típicos de esferas. Os materiais selecionados também são típicos de esferas e cobertos pelo código ASME.

O corte será realizado por meio do processo de oxicorte, com auxílio de máquina CNC; a conformação será realizada por prensagem em uma prensa hidráulica. A soldagem a ser empregada é por arco elétrico, o chanfro selecionado tem a forma em “X” e será aplicado um tratamento térmico após soldagem (PWHT). No ensaio hidrostático será aplicado uma pressão de 2,55 MPa.

## 10.TRABALHOS FUTUROS

Salienta-se que o projeto e fabricação de uma esfera vão muito além do que foi abordado neste projeto. Um tratamento mais aprofundado seria requerido para o costado e para o suporte. Como também poderia haver projetos específicos para cada componente da esfera tratado e para os demais acessórios de uma esfera, aqui só comentados.

Propõem-se ainda as seguintes análises ou projetos de pesquisa:

- A região de contato, união soldada, entre a coluna de sustentação e o gomo do equador é uma parte crítica do projeto devido ao efeito de transferência da carga do costado para cada coluna. Desse modo, uma modelagem por meio do MEF é recomendada para esta região de contato.

- No processo de conformação, sugere-se um estudo da teoria de deformação plástica, atrelado à Mecânica dos sólidos para se estimar qual esforço que será requerido na conformação dos gomos e daí selecionar uma máquina-ferramenta a partir de sua capacidade e demais vantagens x desvantagens.

- Ainda para este processo, como o comprimento dos gomos é muito maior que o ferramental de conformação - embora as larguras sejam a mesma-, propõem-se o desenvolvimento de um projeto de um dispositivo de apoio para a parte da chapa que ficará para fora da ferramenta durante a conformação. Dependendo, talvez até já exista um dispositivo no mercado com características as desejadas a este equipamento, de qualquer forma um estudo deste acessório seria requerido para suporte à chapa no processo de conformação.

- Dimensionamento da solda, análise da zona termicamente afetada (ZTA) e especificação do processo e equipamentos de soldagem.
- Realizar uma análise das causas mais comuns de falhas em esferas.
- Estudo de corrosão e pintura da esfera.

## 11. Agradecimentos

Agradeço primeiramente ao meu orientador, Prof. Dr. Edison Gonçalves, por estar em todos os momentos disposto a me instruir, ter bastante paciência em me ensinar e ao mesmo tempo exigir de mim muito empenho e garra para enfrentar os momentos de dificuldades encontrados durante o projeto.

Não poderia deixar de agradecer também ao docente/coordenador da disciplina, Prof. Dr. Alberto Hernandez Neto, por nos passar ensinamentos de planejamento e estrutura para desenvolvimento de projetos, ensinamentos que são vitais para nossa formação de engenheiro.

Agradeço ao Prof. Dr. Gilmar Batalha, por me conceder a honra de sua participação na banca examinadora deste trabalho e que certamente muito acrescentará para a melhoria e continuidade do projeto.

Deixo ainda meus agradecimentos aos demais professores, familiares e amigos que diretamente ou indiretamente colaboram neste trabalho.

## 12. REFERÊNCIAS

ALIBABA. Site de vendas. Disponível em:

<<http://portuguese.alibaba.com/product-gs/spherical-tank-215296293.html>>. Acesso em: 12 out. 2010.

ASCAR, A. J. Projeto e fabricação de esferas. São Paulo, EMROD, 27-11-2011. Reunião com profissionais desta área.

ASME. Boiler and Pressure Vessel Code - Section VIII - Division 2: Rules for construction of Pressure Vessels (Alternative Rules). New York, 2010.

\_\_\_\_\_. Boiler and Pressure Vessel Code - Section VIII - Division 1: Rules for construction of Pressure Vessels. New York, 2010

CHATTOPADHYAY, S. Pressure Vessels Design and Practice. CRC PRESS, 2005.

GERE, J. M. Mecânica dos Materiais. Ed. Thomson. 2001.

LIQUIGÁS. Propriedades do GLP. 2011. Disponível em: <<http://www.liquigas.com.br>>. Acesso em: 14 nov. 2011.

MOSS, D. R. Pressure Vessel Design Manual: illustrated procedures for solving major pressure vessel design problems. 3rd ed. Elsevier. USA, 2004.

RODRIGUES, J.; MARTINS, P. Tecnologia Mecânica: Fundamentos Teóricos. Vol. I Aplicações Industriais. Editora escolar. Lisboa, 2005.

SHEN, C.P. Projeto e fabricação de esferas. São Paulo, EMROD, 27-11-2011. Reunião com profissionais desta área.

USIMINAS. Catálogo de chapas grossas. Disponível em: <<http://www.usiminas.com/irj/portal?NavigationTarget=navurl://b9550c6a5ba15c7c7e5ff882496a52b2&>>. Acesso em: 12 nov. 2011.

WIKIPÉDIA. Figuras de tanques de armazenamento. Disponível em: <[http://pt.wikipedia.org/wiki/Tanque\\_%28reservat%C3%B3rio%29](http://pt.wikipedia.org/wiki/Tanque_%28reservat%C3%B3rio%29)>. Acesso em: 12 out. 2010.

## 6. Direitos autorais

O autor é o único responsável pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

## DESIGN AND STUDY MANUFACTURING OF SPHERICAL PRESSURE VESSEL

**Valter Firmino da Silva Junior**

valt.jr.1@gmail.com

**Abstract.** *In the project was made to study the design and manufacture and erected of a spherical pressure vessel for storing LPG. For this purpose, we studied mainly the ASME Code - which has specifications for the design and manufacture of pressure vessels - and contacted professionals and companies in this segment. In the field of design, the wall and the support columns of the sphere were designed for a capacity of 10,000 m<sup>3</sup> and materials were selected for these structures. While in the field of manufacturing processes are discussed cutting and forming of the petals that make up the sphere. And in the erected are discussed the main stages of erected, itself, the sphere on its place of use, emphasizing the welding process, are discussed further heat treatment and hydrostatic test of the sphere. The results obtained for the petals and of the support columns dimensions of the sphere are consistent with typical values. The selected materials are also typical and covered by the ASME Code. In the manufacturing process, the cutting will be done through the oxyfuel process, with the help of CNC machine, the conformation will be performed by pressing in a hydraulic press. It should be noted that the design and manufacture of a sphere goes far beyond that was discussed in this project. Although this has been treated the essential parts of a sphere (the wall and support), further analysis would be required in these parts and could also be treated the accessories of a sphere.*

**Keywords.** *Sphere , pressure vessel , manufacturing , LPG.*