

# Estudo para fabricação de cilindros especiais para biometano

*José de Souza<sup>1</sup>  
Lirio Schaeffer<sup>2</sup>*

## Resumo

O biometano, biogás filtrado, composto em torno de 90% de metano, pode ser utilizado como combustível em veículos automotores. Este combustível tem potencial poluidor menor que os de origem fóssil. Além disso, a geração do biometano constitui-se em uma ação despoluidora do meio ambiente, pois utiliza resíduos urbanos, esgotos, biomassa vegetal, etc. O armazenamento do biometano é fundamental para não restringir e limitar a utilização deste ao local onde é produzido. Uma alternativa é a de fabricar cilindros de alta pressão e para isso verificou-se o processo de fabricação, as normas a serem observadas e a modelagem tridimensional de um cilindro para armazenamento de biometano.

**Palavras chave:** Cilindros. Biometano. Transporte de biometano.

## Abstract

*Biomethane is composed around 90% of methane and can be used as combustible in cars and other vehicles. This fuel has lesser polluting potential than the others of fossil origin. Moreover, the generation of the biomethane is a friendly environment production because it uses urban residues, solid waste, vegetal biomass and others. The storage of the biomethane is necessary for not limit the utilization of this gas to the place where it is produced. An alternative is to manufacture high-pressure cylinders. For this we studied the processes of manufacture, the tests of quality for the construction of the cylinders and modeled a cylinder for biomethane storage.*

**Keywords:** *Cylinders. Biomethan. Transport of biomethane.*

## 1 Introdução

As alternativas para armazenagem de biometano dependem de fatores como consumo e tecnologia. Esse combustível não pode ser armazenado facilmente devido ao fato de que não pode ser liquefeito à temperatura e

pressão ambiente. A pressão e temperatura requerida é de  $-82,5^{\circ}\text{C}$  e 47,5 bar, respectivamente (KAPDI, 2005). As formas mais usuais de armazenagem deste gás à baixa pressão são as próprias câmaras de biodigestão ou gasômetros, em balões de Vinil, PEAD (Polietileno

<sup>1</sup> Tecnólogo em Automação Industrial (Universidade Estadual do Rio Grande do Sul) Mestrando em Engenharia de Materiais, Minas e Metalurgia (Universidade Federal do Rio Grande do Sul) e-mail: jose@ped-energia.com - Fone (51) 81733945.

<sup>2</sup> Engenheiro Mecânico pela UFRGS, Mestre em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais pela UFRGS e Doutor em Conformação Mecânica pela Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule/Aachen. Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica – LdTM, Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. E-mail: lirio.schaeffer@pesquisador.cnpq.br Fone (51) 3308 6134

Artigo recebido em 16/06/09 e aceito em 18/05/2010

de alta densidade) e mantas emborrachadas. Estas formas limitam a utilização do mesmo ao local de produção inviabilizando o seu transporte. Para altas pressões, a alternativa mais viável é a de cilindros em aço inoxidável. Estes cilindros facilitarão seu transporte estocagem e o manuseio, além disso, o gás pode ser utilizado como combustível em veículos automotores. No entanto, é necessário buscar a padronização através da normatização dos processos de fabricação destes cilindros e desenvolver parâmetros confiáveis com base em referências normativas para transporte, manuseio e estocagem. Este trabalho tem como objetivos avaliar o processo de fabricação para um cilindro de biometano, verificar as normas a serem observadas para a produção e os testes necessários para se averiguar a qualidade do mesmo. Para uma melhor compreensão e visualização do tema, desenvolveu-se a modelagem tridimensional de um cilindro para armazenamento de biometano.

## 2 Cilindros para biometano

### 2.1 Biometano

O biometano é obtido através da filtragem e tratamento do biogás que é obtido através da decomposição de materiais orgânicos por bactérias anaeróbicas, denominadas de metanogênicas. Estas se desenvolvem em diferentes estágios dentro de câmaras fechadas sem contato com o ar, conhecidos por biodigestores. O desenvolvimento das bactérias tem como resultado a quebra desse composto orgânico que é transformado em metano (HANDBOOK ON BIOGAS UTILIZATION, 1990).

O biogás difere em sua composição em função do processo fermentativo e do substrato que é usado na biodigestão. Basicamente é composto por 55 a 85% de Metano ( $\text{CH}_4$ ), 20% de Dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e o restante de Nitrogênio (N), Oxigênio (O), Ácido Sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ) e Amônia ( $\text{CH}_3$ ) (OGEJO, 2007). Através da filtragem, obtém-se uma elevação da concentração do metano em torno de 90%, fator necessário para que o mesmo possa ser utilizado como biocombustível em veículos automotores que utilizam gás natural, metano fossilizado (BIRATH, 2008).

O biometano pode ser utilizado em automóveis adaptados ou construídos para o uso do gás natural, pois o motor a gasolina pode também ser movido por este combustível (RUTZ; RAINER, 2007). As principais fontes e biomassa que podem ser exploradas para a obtenção do biometano são:

- Biomassa orgânica agrícola;
- Biomassa vegetal urbana;
- Efluentes agrícolas de animais;
- Esgoto doméstico urbano e rural;
- RSU (Resíduos Sólidos Urbanos);
- Outros.

### 2.2 Dos requisitos para fabricação dos cilindros

Os cilindros de armazenamento de gases devem ser resistentes para suportar grandes tensões. Porém, o cilindro deve apresentar baixo peso para não comprometer a capacidade de carga do veículo na combustão ou em seu transporte. Por isso um cilindro de alta pressão para biometano pode ser fabricado a partir de um tubo de aço-liga cromo-molibdênio, sem costura e de espessura de parede entre 8 e 10 mm (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 1993). O tubo deverá passar por um processo de repuxamento e conformação das extremidades (base de um lado e gargalo do outro). Na figura 1, pode-se verificar o formato da matriz e da punção para forjamento do cilindro.



Figura 1 – Corte de conjunto de forjamento de cilindro para Biometano (Geratriz)

Depois da conformação e do tratamento térmico (têmpera e revenido), todos os cilindros deverão ser ensaiados de modo a detectar algum tipo de defeito construtivo, como trincas e falhas que possam comprometer sua integridade estrutural (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2003).

Os cilindros podem também ser fabricados em alumínio e reforçados com fibra de carbono. Estes são significativamente mais leves que os de aço-liga, porém seu preço será mais elevado devido ao custo destes materiais. As características físicas do cilindro de alta pressão exigem que este equipamento seja fabricado seguindo um conjunto de etapas que permitem a obtenção de um equipamento seguro e confiável. Estas etapas compreendem as especificações do projeto, análise, ensaios mecânicos destrutivos e não destrutivos e, por fim, a aprovação.

### 2.3 Matérias primas para fabricação

A matéria-prima para fabricação dos cilindros deve ser cuidadosamente selecionada. Os tubos de aço-liga sem costura são recebidos do fabricante em diversas bitolas, acompanhados dos certificados de análise química e dos testes hidráulicos, realizados individualmente para cada lote de tubos.

Em seguida, deverão ser verificadas suas características químicas, físicas, mecânicas e, quando necessário, sua resistência à corrosão sob tensão. A análise mecânica da fratura do aço-liga empregado para fabricação do cilindro permite ao fabricante definir qual o máximo defeito permissível a fim de possibilitar:

- estabelecer o ensaio não destrutivo mais adequado para a linha de produção;
- garantir a vida útil do produto;
- demonstrar que sua falha é sempre precedida por início de trinca ocasional no cilindro.

### 2.4 Projeto dos cilindros

Para projetos de vasos de pressão, conforme o código ASME (*American Society Mechanical Engineers*, 2004), em qualquer caso é exigido que o vaso seja destinado a um serviço específico preestabelecido, e para isso

o usuário, ou seu agente credenciado, deve preparar um documento formal denominado 'especificação de projeto usuário' (*user's design specification*), indicando as condições de operação do vaso (fluido contido, pressão e temperatura). Inclusive para situações transitórias ou anormais, necessidade ou não de análise de fadiga para serviços cíclicos, detalhando os dados necessários para essa análise, necessidade ou não de margem para corrosão e erosão, ou de tratamentos térmicos. A norma exige também que seja feito um acompanhamento do comportamento do vaso em operação e em manutenção, durante toda a sua vida útil, pelo usuário responsável pela especificação de projeto.

Conforme NR13 (1994), vasos de pressão são equipamentos que contêm fluidos sob pressão interna e que recebem:

- Prontuário do Vaso de Pressão;
- Registro de Segurança;
- Projeto de Instalação;
- Projeto de Alteração ou Reparo;
- Relatórios de Inspeção.

No projeto de cilindros de alta pressão para biometano, é utilizado o cálculo das tensões nas paredes dos recipientes e análise por elementos finitos, com auxílio de programas de computador. Os dados calculados devem, então, ser verificados experimentalmente, usando-se equipamentos de medição de tensões na parede do cilindro, denominados de extensômetros. É necessário garantir que o cilindro suporte uma pressão superior a duas vezes a pressão nominal (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2000). Na figura 2, apresenta-se um exemplo para visualização de um cilindro para biometano com capacidade de 100 litros.

No projeto do cilindro, considerando o processo de conformação mecânica, é necessária a utilização do cálculo estrutural, para isso pode ser utilizado um *software* dedicado, um programa de análise estrutural por elementos finitos que dispõe de recursos para a elaboração de diversos modelos estruturais, versátil e evolutivo para análise estrutural. A conformabilidade na produção de cilindros metálicos pode ser avaliada quantitativamente



Figura 2 – Cilindro para biometano

a partir de alguns parâmetros como: coeficiente de encruamento ( $n$ ), coeficiente de anisotropia ( $r$ ) e constante plástica de resistência ( $K$ ), através de uma curva limite de conformação (CLC) (VIJAY, 2006). O conhecimento do comportamento dos materiais conformados, quando sofrem o processo em si, é de suma importância para o projeto das ferramentas e do processo. As curvas de limite de conformação trazem informações dos estados de tensão do estado do cisalhamento até o de tensões mais baixas e balanceadas correspondendo aos dados de estampagem profunda até o estiramento puro. Através da curva de limite de conformação, pode-se avaliar o estado de deformação do tampo do cilindro (figura 3) e a probabilidade de ocorrência de falha.

### 2.5 Ensaio e testes na fabricação dos cilindros

Foi pesquisada uma série de requisitos que devem ser observados na produção de cilindros recarregáveis para armazenamento de biometano a altas pressões, para ser utilizado como combustível automotivo. A pressão de operação dos sistemas para GNV é de 200 bar a uma temperatura de 15° C. Isso significa que este limite deverá ser observado para os cilindros de biometano. A pressão máxima será de



Figura 3 – Corte da cúpula do cilindro

260 bar de maneira que os cilindros deverão ser projetados para adequarem-se aos seguintes limites de pressão:

- Pressão estabilizada a 200 bar a uma temperatura estável de 15° C;
- A pressão máxima não pode exceder 260 bar, independentemente das condições de enchimento ou da temperatura.

A temperatura dos materiais do cilindro pode variar de -40° C a 82° C. Temperaturas acima de 65° C devem ser localizadas ou existirem por curto período de tempo, de modo que a temperatura do gás no cilindro não ultrapasse 65° C.

Os cilindros para gases devem ser fabricados, conforme normas técnicas de fabricação nacionais, para poderem ser utilizados como reservatórios de gás. Estes cilindros devem ser fabricados a partir de tubos de ligas de aço especiais sem costura e sem solda (uma vez que não é indicado através de norma), de forma a garantir resistência às altas pressões de serviço. A pressão de trabalho dos cilindros é superior a 200 bar (20 MPa).

Os cilindros para gases devem apresentar resistência a choques e colisões que podem ocorrer no transporte, manuseio e instalação. Para garantir esta resistência, os cilindros deverão ser testados e ensaiados durante o processo de fabricação, além disso, alguns deles devem ser separados aleatoriamente para testes mecânicos de destruição em testes de controle de qualidade. Os cilindros fabricados no Brasil recebem o selo de qualidade pelo organismo de certificação do produto credenciado pelo Inmetro, (Instituto Nacional de Metrologia).

Os ensaios e testes de novos cilindros são executados de diversas formas:

- a) Ensaios mecânicos como tração, impacto, ruptura hidráulica, dobramento e achatamento, rugosidade e análise química na matéria-prima;
- b) Verificação de requisitos de segurança num cilindro de amostra do lote de fabricação;

Estes requisitos são:

- Teste de ruptura hidráulica;
- Ensaio de pressão cíclica;
- Ensaio de dobramento e impacto;
- Resistência ao fogo;
- Resistência a projéteis;
- Ensaio ambiental;
- Ensaio cíclico de temperatura extrema.

Durante a etapa de produção, 100% dos cilindros devem passar pelos seguintes ensaios:

- Ensaio de dureza (Brinell ou similar);
- Inspeção de ultra-som;
- Ensaio hidráulico de expansão volumétrica;
- Teste dimensional, inclusive da rosca do gargalo;
- Verificação da marcação do cilindro;
- Verificação do acabamento superficial interno e externo.

Deve-se, ainda, providenciar o ensaio destrutivo de ruptura hidráulica em um cilindro de amostra do lote fabricado.

### 3 Processos de fabricação

O processo de fabricação de cilindros de alta pressão pode ser descrito em passos ou processos a serem executados.

O primeiro processo a ser executado para a fabricação de cilindros é o corte da chapa, quando são estabelecidos os tamanhos e a capacidade hidráulica dos cilindros. A conformação da chapa é o processo responsável pela forma, uma vez que o cilindro não pode ser construído através de soldagem. A conformação da base do cilindro é seguida da conformação de ombro quando é dada a forma que o cilindro terá no final.

O cilindro conformado deve passar por um processo de têmpera de revenido e normalização para se garantirem as propriedades que impedirão rompimento do cilindro para a pressão requerida como ilustra a figura 4.



Figura 4 – Tratamento térmico em cilindro para gases  
(Fonte: MAT)

Depois disso deverão ser efetuados os testes para verificação de qualidade. Em seguida o cilindro deve usinado para receber uma saída rosqueável no pescoço. Deverá, ainda, receber acabamento externo, pintura e identificação, conforme normas de identificação de cilindros para gases (ISO 11439:2000).

### 4 Conclusões

É cada vez maior a produção de biogás, e as tecnologias para a geração deste melhoram a cada dia. Nesse sentido é imprescindível a construção de cilindros especiais gerando sua utilização eficiente. Não é recomendável que se utilizem cilindros fabricados para GNV (Gás Natural Veicular) aplicado ao biometano. Este último pode ser quimicamente agressivo, dependendo da sua composição que contém grande quantidade de agentes corrosivos em função da região ou da utilização do gás. Portanto, é necessária a construção de cilindros especiais, respeitando as normas de fabricação, aspecto e identificação dos mesmos. É reprovável a utilização de recipientes de outros gases para o biometano ou biogás. Além disso, medidas deverão ser tomadas visando à regulamentação para armazenagem e transporte do biometano. A tecnologia empregada não difere muito da utilizada na fabricação dos cilindros para GNV e outros gases. Empresas que fabricam estes modelos podem, sem grandes investimentos adicionais, remodelar suas linhas para fabricação dos cilindros.

As normas existentes para fabricação de cilindros para gases devem ser observadas e cumpridas, uma vez que o biometano se enquadra como gás combustível.

## 5 Referências

AMERICAN SOCIETY MECHANICAL ENGINEERS. **Reference Code for Construction Desing**: Div. 1 – Regras para Construção de Vasos de Pressão – U / UM stamp.. New York, NY: ASME, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Cilindros para alta pressão para armazenamento de GNV como combustível a bordo de veículos automotores**. Rio de Janeiro, 2000. (ISO 11439:2000)

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12791**: Cilindro de aço sem costura, para armazenamento de gases a alta pressão. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12274**: Inspeção em cilindros de aço sem costura para gases. Rio de Janeiro, 2003.

BIRATH, K. et al. **Technical guidance for biofuels**, Utrecht, The Netherlands: European Commission nor the co-ordination Action Biofuel Cities European Partnership Consortium, 2008. Disponível em: <[http:// www.biofuel-cities.eu](http://www.biofuel-cities.eu)>

**HANDBOOK ON BIOGAS UTILIZATION**. Published for U. S. Department of Energy Southeastern Regional Biomass Energy Program Tennessee Valley Authority Muscle Shoals, Alabama

35660. Research institute Georgia institute of Technology Atlanta, Georgia 30332, 1990

**ISO 11439**: Gas cylinders: High pressure cylinders for the on-board storage of natural gas as a fuel for automotive vehicles. Geneve: ISO, 2000.

KAPDI, S. Z. et al. Biogás Scrubing, Compression and Storage: perspective and prospectus in Indian context. **Renewable Energy**, v.30, n.8, p. 1195-1202, july 2005 .

NR 13. **Caldeiras e Vasos de Pressão**: (113.000-5); Itens 3.6 e 13.7. Vasos de pressão e Instalação de Vasos de Pressão; Portaria GM n.º 3.214, de 08 de junho de 1978 (Redação dada pela Portaria SSST n.º 23, de 27 de dezembro de 1994)

OGEJO, J.A. et al. Biomethane Technology. **Virginia Cooperative extension. Blacksburg, VA**, Communications and Marketing, College of Agriculture and Life Sciences, Virginia Polytechnic Institute and State University, n. 442-881, 2007. Disponível em: <<http://pubs.ext.vt.edu/442/442-881/442-881.html>>

RUTZ, D.; RAINER, J. – **BioFuel Technology Handbook**. München – Germany: WIP Renewable Energies Sylvensteinstr, 2007. Disponível em: <[http://www.wip-munich.de/downloads/dissemination/selected\\_publications/BioFuel\\_Technology\\_Handbook\\_shortversion.pdf](http://www.wip-munich.de/downloads/dissemination/selected_publications/BioFuel_Technology_Handbook_shortversion.pdf)>

VIJAY, V. K. et al. Biogas Purification and Bottling into CNG Cylinders: Producing Bio-CNG from Biomass for Rural Automotive Applications. In: JOINT INTERNATIONAL CONFERENCE ON “SUSTAINARE ENEGY AND ENVIRONMENT, 2, 2006, Bangkok. **Proceedengs...** Bangkok, 2006.