

# Projeto de fabricação de face cilíndrica estacionária para biorreatores anaeróbios

José de Souza<sup>1</sup>

Antônio Pereira Borba<sup>2</sup>

Clayton André Oliveira da Motta<sup>3</sup>

Vinicius Martins<sup>4</sup>

Lirio Schaeffer<sup>5</sup>

## Resumo

Excelente combustível para produção de energia e calor, o gás metano ( $\text{CH}_4$ ) pode ser produzido em biorreatores anaeróbios com o uso de resíduo orgânico. Para a otimização da produção de metano, é indicado que os reatores possuam boa homogeneização e controle de temperatura. A face estacionária compõe a interface entre o reator e dispositivos móveis e sua função é viabilizar a implantação de misturadores, dutos e tubos. Os esforços a que estão submetidos exigem que faces possuam boa resistência mecânica e relativa dureza. O objetivo deste trabalho é efetuar a modelagem tridimensional de uma face estacionária e do ferramental para seu processo de fabricação. Para a fabricação do dispositivo, escolheu-se uma mistura de níquel e cobre (Ni-Cu), com uma composição de 70 e 30%, respectivamente. Foi efetuada uma modelagem tridimensional da face e das ferramentas utilizadas na sua fabricação. Por fim, foi fabricado um corpo de prova para realização do teste de dureza com o qual se constatou que a dureza do dispositivo é apropriada.

**Palavras Chave:** Biorreatores. Metalurgia do pó. Face estacionária mecânica.

## Abstract

*Excellent fuel for power and heat generation, methane ( $\text{CH}_4$ ) can be produced in anaerobic bioreactors with the use of organic waste. For the optimization of the production of methane, it is indicated that the reactors have a good homogenization and temperature control. The stationary face forms the interface between the reactor and mobile devices and their function is to enable the deployment of mixers, pipes and tubes. The submitted efforts require that the faces have good mechanical resistance and relative hardness. The objective of this work is to develop a three-dimensional modeling of a stationary face and necessary tools for its manufacturing process. For the manufacturing of the device, it was selected a mixture of copper and nickel (Ni-Cu), with a composition of 70 and 30%, respectively. It was performed a three-dimensional modeling of the face and manufacturing tools. Finally, it was produced a test piece for testing the hardness with which it was concluded that the hardness of the device is appropriate.*

**Keywords:** Bioreactors. Powder Metallurgy. Mechanical stationary face.

<sup>1</sup> Doutorando em Engenharia Minas, Metalurgia e Materiais no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS, Brasil e docente na Faculdades Integradas de Taquara (FACCAT), Taquara, RS. E-mail: 00178926@ufrgs.br

<sup>2</sup> Mestrando em Engenharia Minas, Metalurgia e Materiais no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS, Brasil; tecnólogo mecânico em Processos de Produção pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (FATEC), SP, Brasil; técnico em Mecânica pela Fundação Escola Técnica Liberato Salzano Vieira da Cunha (F.E.T.L.S.V.C), Novo Hamburgo, RS e professor titular da Escola Técnica Estadual Monteiro Lobato, Taquara, RS. E-mail: antonio.p.borba@gmail.com

<sup>3</sup> Mestrando em Engenharia Minas, Metalurgia e Materiais no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS, Brasil; engenheiro mecânico e instrutor na Escola Técnica SENAI, Plínio Gilberto Kroef (CETEMP), São Leopoldo, RS. E-mail: clayton.motta@yahoo.com.br

<sup>4</sup> Doutorando em Engenharia Minas, Metalurgia e Materiais no Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS, Brasil e professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-Rio-Grandense (IFSul). E-mail: viniushiper@yahoo.com.br

<sup>5</sup> Coordenador do Laboratório de Transformação Mecânica (LdTM), Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS, Brasil e docente do programa de Pós-graduação em Engenharia Minas, Metalurgia e Materiais (PPGE3M) na Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), RS. E-mail: schaefer@ufrgs.br

Artigo recebido em 27/02/2012 e aceito em 26/04/2012.

## 1 Biocombustíveis e biodigestão

Estudos realizados na produção de biocombustíveis no país e no mundo reforçam a necessidade da continuidade em pesquisas relacionadas. A busca por combustíveis menos poluentes vem crescendo nas últimas décadas. Através dessas iniciativas pró-ambientais, cresce a demanda por tecnologias e equipamentos aplicados (SOUZA *et al.*, 2011).

O país tem demonstrado enorme potencial na geração de metano, devido à grande produção de biomassa. O metano pode ser gerado através de resíduos poluentes o que agrega vantagens ambientais na sua utilização, além da redução na emissão de poluentes na substituição de combustíveis fósseis por renováveis (KRUMMÉNAUER *et al.*, 2010).

O metano é um combustível que pode ser empregado em sistemas de refrigeração industrial, equipamentos de tratamento térmico, fogões e fornos industriais, aquecimento, climatização, combustível agrícola, motores a combustão interna, turbinas, etc. Além dessas utilizações, pode ser empregado na produção de hidrogênio ( $H_2$ ) excelente combustível para células especiais.

A geração de metano pode ser realizada através de processos de biodigestão anaeróbia que produz uma mistura gasosa denominada biogás, contendo além do metano ( $CH_4$ ), dióxido de carbono ( $CO_2$ ), amônia ( $NH_3$ ), umidade ( $H_2O$ ), ácido sulfídrico ( $H_2S$ ), entre outros (SOUZA, 2010). Esse processo ocorre em diferentes tipos de biorreatores anaeróbios dotados de sistemas mecânicos para o aquecimento, homogeneização, carga e descarga. O uso de misturadores dá-se com a finalidade de manter a homogeneidade da massa orgânica depositada no biorreator. Misturadores geralmente são acionados por motores fixados pelo lado externo do biorreator o que exige um sistema de vedação eficiente para evitar vazamentos do substrato e gás. As pás rotativas do misturador são montadas em um eixo-árvore que passa através de furo na parte superior do reator. Nessa passagem a vedação se faz necessária, evitando o vazamento do biogás.

A figura 1, a seguir, mostra um biorreator dotado de misturador com eixo e sede estacionária.

Sedes estacionárias substituem, com vantagens, os elementos de vedação tradicionais como gaxetas, pois as faces podem trabalhar com grandes velocidades e em temperaturas e pressões superiores às gaxetas.

A modelagem da face é o primeiro estágio para o projeto do dispositivo para retenção dos gases e líquidos. Elementos construtivos resistentes

à corrosão tornam mais eficientes os sistemas produtivos, por minimizar custos de manutenção. A mistura de gases produzidos em biorreatores, além de insalubres, possui alto poder de ataque corrosivo nos metais, principalmente ferrosos (BORBA *et al.*, 2011). Isso tem estimulado a utilização de materiais que não sejam suscetíveis à oxidação e a corrosão por meios ácidos ou oxidantes, levando a escolha do pó composto (Ni-Cu).



Figura 1 – Aplicação de face estacionária em biorreator contínuo com misturador  
Fonte: Souza, (2010).

## 2 Metalurgia do pó e sinterização

A metalurgia do pó é o processo metalúrgico de fabricação de peças metálicas, não metálicas e cerâmicas, que está sendo cada vez mais utilizado na indústria de peças complexas. Diferente dos processos convencionais não apresenta a fase líquida, mas a presença apenas parcial de fase líquida durante o processo. Esse processo permite a produção de peças com formas definitivas ou praticamente definitivas dentro de tolerâncias exigentes. Isso possibilita a produção de peças com características físicas complexas, mais facilmente do que em outros processos de fabricação. A grande parte das peças fabricadas por sinterização pesa menos de 2,5 kg, no entanto é possível fabricar peças maiores de até 15 kg. No início do emprego da fabricação por metalurgia do pó, produziram-se peças com geometria simples, no entanto, o processo tornou-se uma alternativa para produção de peças complexas e onerosas (POLARI, 2005). Em princípio, na metalurgia do pó, não há necessidade de operações secundárias e de acabamento posterior. Consiste em moldagem ou compactação e sinterização. A compactação consiste em dar forma aos pós em matrizes através de punções (DELFORGE *et al.*, 2007).

A sinterização é um processo de fabricação que pode ser utilizado tanto em pós-ferrosos como em não ferrosos. O processo de fabricação envolve a modelagem do pó metálico e não metálicos, cujas características da fórmula satisfaçam às necessidades, mediante a aplicação de pressão e calor (sinterização). Os componentes sinterizados oferecem liberdade de projeto, a possibilidade de utilização de praticamente 100% dos materiais, isto é, sem desperdícios (MARTINS, 2010).

Baseado nesse processo, este trabalho propõe-se a empregar os metais níquel e cobre (Ni-Cu) na produção de um vedador sinterizado, para utilização em ambientes de produção de metano. Depois de projetada a peça, essa poderá ser prensada em moldes dimensionados para o projeto e então sinterizada. Esse estágio se dá através do aquecimento da peça já pronta. A sinterização mostra que, ao aquecer o compactado verde, peça recém-compactada, a uma temperatura maior que a metade da temperatura de fusão do material, ocorre união entre as partículas metálicas e essas tendem a alcançar as características físicas, químicas e mecânicas intrínsecas do material sólido maciço, proporcional ao nível de compactação.

A escolha dos componentes, níquel e cobre deu-se devido a mistura possuir boa resistência mecânica, ductilidade, além de resistência à corrosão. Segundo Chiaverini (1986), as ligas cobre-níquel são muito dúcteis e apresentam excelente resistência a corrosão. Quanto maior o percentual de níquel nessa liga, tanto melhor suas propriedades relacionadas com a resistência mecânica, como limite de escoamento e limite de resistência à tração, assim como a dureza, limite de fadiga e corrosão. A utilização desses materiais oferece possível formação de finas estruturas de grãos homogêneos, fácil confecção do formato necessário e produção de peças com bom acabamento de superfície (SILVEIRA; MONTEIRO, 2011).

### 3 Características de peças

O índice de porosidade avalia o percentual de vazios que o composto apresenta, após sua compactação e, também, após sua sinterização. Conforme German (1994), tal fator deve ser calculado através da equação 1, apresentada a seguir:

$$P_t = \frac{\rho_m - dt}{\rho_m \times 100} \quad (1)$$

onde:

-  $P_t$  = porosidade teórica do composto;  
-  $\rho_m$  = massa específica (densidade aparente) do composto;

-  $dt$  = densidade aparente do composto teórica.

Ainda, conforme German (1994), para o cálculo da massa específica teórica do composto, utiliza-se a equação 2, apresentada a seguir:

$$\rho_m = \frac{mc}{vc} \quad (2)$$

onde:

-  $mc$  = massa do composto estipulada;  
-  $vc$  = volume do composto compactado.

Para o cálculo da densidade aparente  $dt$  conforme Torres (2009), poderá ser utilizada a razão entre a massa inicial do composto  $mi$  versus volume inicial  $vi$  como demonstrado na equação 3:

$$dt = \frac{mi}{vi} \quad (3)$$

onde:

-  $mi$  = massa inicial do composto, encontrada pelo cálculo da área da cavidade da matriz projetada;  
-  $vi$  = volume inicial do composto que preenche a cavidade da matriz.

Para a utilização da equação (1), deve-se necessariamente calcular a densidade aparente e, também, a massa específica do composto.

### 4 Sistemas de vedação

Vedadores de pressão utilizados para reter fluidos são aplicados em sistemas de biodigestão. Conforme Cortelli (2005), sistemas de vedação desenvolvidos para vedação de fluidos pastosos e/ou com presença de sólidos são projetados para alto desempenho e durabilidade e são denominados de selos para polpa/lama ou mineração. As tecnologias aplicadas e a operação de sistemas de vedação a gás (sem contato) ou a seco dependem de forças aerostáticas e aerodinâmicas. Uma película de gás mantém as duas faces de selagem separadas, durante a operação. As forças aerodinâmicas são geradas pela presença de uma geometria diferenciada em uma das faces de selagem. Os sistemas para misturadores também são utilizados em plantas químicas, farmacêuticas, alimentícias, refinarias, etc. Diversos sistemas são empregados para agitar, combinar e misturar produtos. Essas aplicações geralmente requerem poucas intervenções de manutenção e segurança, para proteger o meio-ambiente e o local de trabalho.

### 5 Materiais e métodos

O equipamento utilizado para compactar a mistura para fabricação de uma peça para testes foi uma prensa hidráulica de 40 toneladas. Inicialmente,

desenvolveu-se o projeto de uma face estacionária, para biorreatores, conforme figura 2. Essa geometria, adotada no projeto, é utilizada em agitadores mecânicos horizontais. A parte interna tem contato direto com o substrato do biorreator, e a parte externa em contato com a parede do biorreator. A face ainda possui um rebaixo para encaixe de um O'ring.

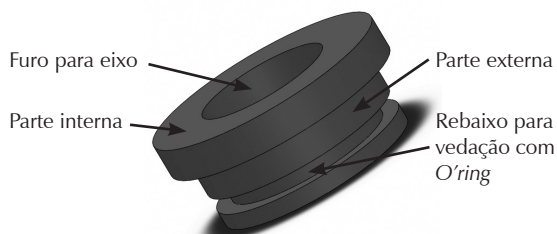


Figura 2 – Face estacionária  
Fonte: Os autores, (2012).

Através da metalurgia do pó, propôs-se a compactação do material para montagem da face com densidade compatível com a função a ser desempenhada. As ferramentas de fabricação são mostradas na figura 3.

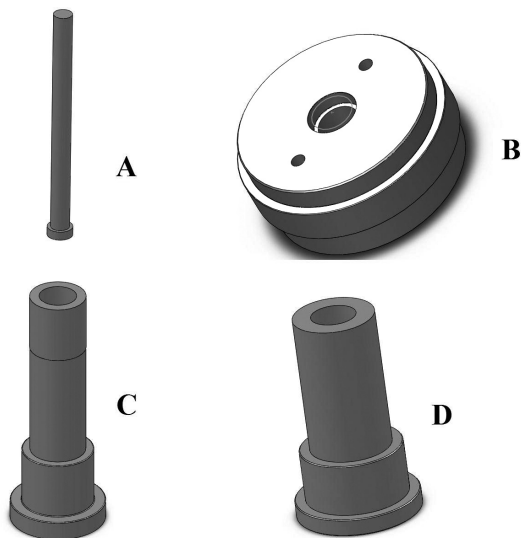


Figura 3 – Ferramentas de fabricação do selo.  
A) Macho de compactação; B) Matriz de compactação;  
C) Punção inferior de compactação e D) Punção superior de compactação  
Fonte: Os autores, (2012).

Para levantamento dos dados, referente ao cálculo da densidade aparente, massa específica e porosidade teórica, foi construída uma matriz padrão de aço ligado, mostrado na figura 4 e com suas dimensões, figura 5.

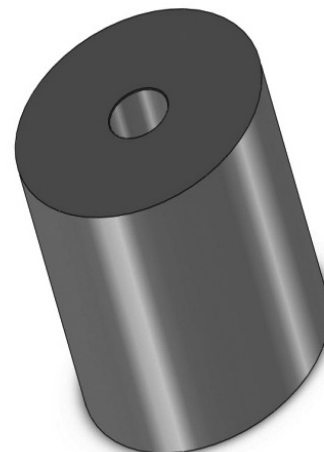


Figura 4– Matriz padrão para corpos de prova 70Cu-30Ni  
Fonte: Os autores, (2012).

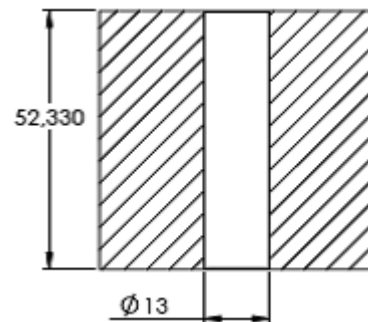


Figura 5 – Detalhamento da matriz padrão em mm para corpos de prova 70Cu30Ni  
Fonte: Os autores, (2012).

A densidade aparente teórica do composto foi calculada, utilizando-se a equação 3. O resultado está apresentado, conforme mostra a equação 4, a seguir:

$$dt = \frac{mi}{vi} = \frac{12,679g}{6,8cm^3} = 1,86g/cm^3 \quad (4)$$

A massa específica foi calculada, utilizando-se a equação 2. A massa foi estipulada em 5 g. O resultado está apresentado, conforme mostra a equação 5:

$$\rho m = \frac{mc}{vc} = \frac{5,0g}{0,671cm^3} = 7,45g/cm^3 \quad (5)$$

Para o cálculo da porosidade teórica, foi utilizada a equação 1. O resultado é apresentado, conforme mostra a equação 6:

$$pt = \frac{\rho m - dt}{\rho m \times 100} = \frac{7,45g/cm^3 - 1,86g/cm^3}{7,45 \times 100} = 53,76\% \quad (6)$$

Com isto foi obtida a porosidade do composto em 53,76%.

## 6 Resultados

### 6.1 Curva de compressibilidade

A pressão de compactação foi estabelecida, considerando-se a curva de compressibilidade, traçada com base na norma ASTM B331 (2010). A norma estabelece a relação de pressão de compactação para uma quantidade de pó. A curva é definida com a aplicação de diversas pressões, resultando em diferentes densidades, sendo que o primeiro ponto do gráfico é a densidade aparente. Efetuando-se os ensaios de compactação do corpo de prova, verificou-se a curva de compressibilidade, a figura 6.

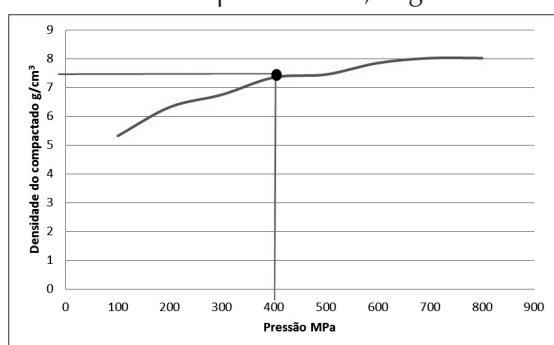


Figura 6 – Gráfico de compressibilidade resultante do ensaio de compactação

Fonte: Os autores, (2012).

### 6.2 Processo de fabricação de corpo de prova

O processo de fabricação ocorre de acordo com o fluxo de fabricação de sinterizados, balanceando os elementos pertencentes à liga metálica proposta, 70% Níquel e 30% Cobre, e o lubrificante sólido, estearato de zinco. A mistura das mesmas é realizada em um misturador chamado duplo cone ou em V pelo período não inferior a trinta minutos e não superior a uma hora. Conforme German (1994), períodos superiores a 60 minutos tendem a endurecer a partícula dos pós envolvidos na mistura e, com isso, promover maiores desgastes nas ferramentas e maiores forças de compactação. Já para a compactação, o equipamento a ser utilizado tem como capacidade de prensagem 40 toneladas. O sistema de prensagem dá-se pelo punção superior de compactação, figura 3 (d) e a extração da peça do interior da matriz será executada pelo punção inferior figura 3 (c). O forno utilizado para sinterização foi do tipo poço, com capacidade de sinterização de 200 kg por cada ciclo de trabalho, sendo a temperatura máxima de trabalho na ordem de 1150°C. Considerando que a temperatura de fusão do níquel é aproximadamente 1453°C, e que,

para o processo vigente, a temperatura de sinterização pode ficar entre 1000°C e 1160°C, o forno a ser utilizado atendeu com satisfação a sinterização de tal composto. A peça permaneceu durante 45 minutos em temperatura de sinterização. As temperaturas de pré-sinterização oferecem a queima e retirada das impurezas do interior das peças, bem como a desoxidação das mesmas. Após essa etapa, inicia-se a curva de resfriamento até próximo de 200°C, quando da retirada das mesmas para a temperatura ambiente. Por último, verifica-se a densidade da peça, depois da sinterização e se executa o ensaio de dureza. Se necessário, após a sinterização, ocorre o processo de usinagem para fins de acabamento, rebaixas e outros detalhes.

Na modelagem tridimensional do projeto, ficou estabelecido o formato do dispositivo para a aplicação em biorreatores. Procurando-se um formato simples e dinâmico, definiu-se o modelo, sem necessidade de grandes modificações e intervenções de usinagem ou outros processos de fabricação. Isso aprimora a fabricação da peça, reduzindo o custo de produção.

Para o processo de fabricação do selo, a compactação de 7,5 g/cm<sup>3</sup> pode ser alcançada com uma pressão em torno de 400 MPa, conforme verificado na curva de compressibilidade, figura 6.

### 6.3 Ensaio de dureza

Após terem sido fabricados os corpos de prova, conforme mostra figura 7, com a composição já descrita proposta, efetuou-se ensaio de dureza.

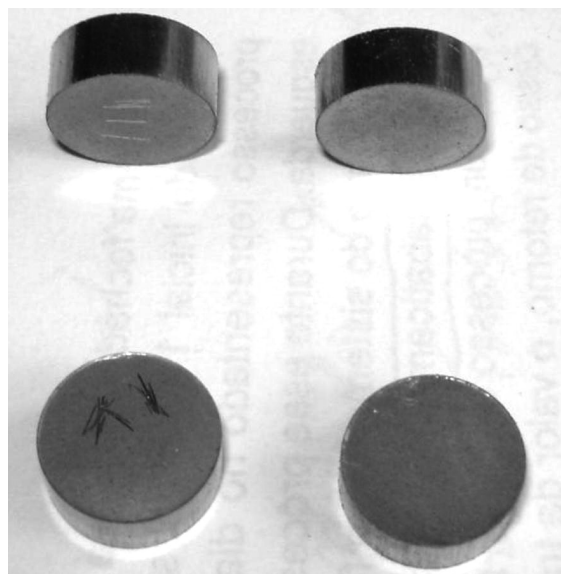


Figura 7 – Corpos de prova para ensaio de dureza  
Fonte: Os autores, (2012).

A dureza aparente Rockwel foi mensurada, através de equipamento de ensaio de dureza, observando-se a norma ASTM E18-03 (1989). O aparelho usado foi um durômetro de bancada HRC – HB com padrão de dureza Rockwel C. Primeiro, foi efetuada a aferição do equipamento com padrão calibrado de 60 HRC. Depois de inserida a peça para ensaio, foi aplicada uma pré-carga de 100 N e uma carga principal de 1500 N, conforme norma ASTM E 18-03 (1989). O processo foi repetido, e os resultados registrados, conforme os dados da tabela 1.

Tabela 1 – Ensaios de dureza aparente (Rockwel)

Leituras	Dureza
1	64 HRC
2	66 HRC
3	65 HRC

Fonte: Os autores, (2012).

O valor médio de dureza para um corpo de prova ensaiado foi de 65HRC, conforme equação 7:

$$Y = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Y_i = \frac{1}{3} (64 + 66 + 65) = 65 \quad (7)$$

O desvio padrão dos valores, conforme a equação 8 é 1

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum (Y_i - Y)^2} = \sqrt{\frac{1}{2} (-1^2 + 1^2 + 0^2)} = 1 \quad (8)$$

## 7 Conclusão

A composição da mistura dos pós resultou em uma estrutura com dureza de 65HRC e adequada para aplicações em biorreatores, confirmado no ensaio de dureza aparente, tabela 1, mostrada anteriormente. Esses resultados apresentaram média de 65HRC. A face possui ainda boas propriedades anticorrosivas, o que é fundamental, pois o meio, onde será utilizada, possui essa característica.

A modelagem da face resultou em projeto de um conjunto de ferramentas dimensionadas, para se obter o dispositivo projetado.

O desenvolvimento de dispositivos e tecnologias promotoras de geração de biocombustíveis é um importante fator de promoção de inovação e do desenvolvimento sustentável. A pesquisa relacionada visa contribuir no desenvolvimento de tecnologia aplicada à conversão de biomassa em energia, setor em que o país busca alternativas.

Ações como, a utilização de novos processos de fabricação, metalurgia do pó e novos materiais viabilizam o surgimento de novas tecnologias e processos.

A consolidação de novos processos e metodologias na geração de biocombustíveis garantirão a produção e o fornecimento de biocombustíveis. Biorreatores são os principais instrumentos necessários em usinas para geração de metano. Portanto, o projeto da face rotativa está diretamente ligado à pesquisa e esforços em melhorias na produção do gás. A face rotativa é um dos instrumentos básicos e componente indispensável no processo produtivo de metano.

Ações futuras serão executadas como a fabricação do dispositivo e ensaios de estanqueidade, aplicando-se a face diretamente em biorreatores.

## Referências

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM) – ASTM E18-03. **Standard test methods for rockwell hardness and rockwell superficial hardness of metallic materials.** E 18-89a, United State of America, 1989.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS (ASTM). ASTM B331 – 10. **Standard test method for compressibility of metal powders in uniaxial compaction.** United State of America, 2010.

BORBA, A. P. *et al.* Uso de diferentes ligas metálicas para construção de reatores anaeróbios, um estudo de caso. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL DE MATERIAIS E PROCESSOS PARA ENERGIAS RENOVÁVEIS, 1., 2011, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: UFRGS, 2011.

CORTELI, R. **Engenharia de aplicação selos mecânicos.** 2005. Disponível em: <[http://www.du-o-lap.com.br/tecnologia\\_ved.htm](http://www.du-o-lap.com.br/tecnologia_ved.htm)>. Acesso em: 31 mar. 2012.

CHIAVERINI, V. **Materiais de construção mecânica – tecnologia mecânica.** 2. ed. São Paulo: McGraw-Hill, 1986.

DELFORGE, D. Y. M. *et al.* Sinterização de uma mistura de cavaco de aço inoxidável com pó do mesmo material. Uma nova tecnologia para a reciclagem de metais? Metalurgia do Pó – **Revista Escola de Minas,** Ouro Preto, v. 60, n.1, jan./mar. 2007.

GERMAN, R. M. **Powder metallurgy science.** 2. ed., Princeton, NJ: MPIF, 1994.

KRUMMENAUER, E. J. *et al.* Tecnologia de produção de biocombustíveis: desenvolvimento de tecnologias para compressão de biogás. In: CONGRESSO

INTERNACIONAL DE TECNOLOGIAS PARA O MEIO AMBIENTE, 2., 2010, Bento Gonçalves. **Anais ...** Bento Gonçalves, 2010.

MARTINS, V. **Estudo das propriedades mecânicas dos compósitos WC-6Co, WC-10Co, WC-20Co, WC-6Co-6Ni, WC-6Co-12Ni obtidos por metalurgia do pó convencional para aplicação em anéis de selos mecânicos.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

POLARI, H. **Processo de sinterização do aço.** 2005. Disponível em: <<http://cursos.unisanta.br/mecanica/mapadosite.html>>. Acesso: 27 nov. 2011.

SILVEIRA, C. R.; MONTEIRO W. A. Desenvolvimento e caracterização de ligas ternárias de

cobre-níquel-alumínio, obtidas por metalurgia do pó, visando alto desempenho mecânico e elétrico. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 63, 2011, Goiânia. **Anais ...** Goiânia: UPM, 2011.

SOUZA, J. **Desenvolvimento de tecnologias para compressão de biogás.** 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia) PPGE3M – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2010.

SOUZA, J. et al. Utilização de reatores anaeróbios em indústrias de alimentos. In: IV SEMINÁRIO SOBRE TECNOLOGIAS LIMPAS, 4, 2011, Porto Alegre. **Anais ...** Porto Alegre, 2011.

TORRES, C. S. **Estudo da moagem de alta energia e sinterização de metal duro WC-NI.** 2009. Dissertação. (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2009.







