

POTÊNCIA BRASIL



LEONID STRELAIEV

Gás natural, energia limpa para um futuro sustentável

Autores

Armando Martins Laudorio, Daniel García Delgado, João Carlos França de Luca, José Alexandre Altahyde Hage, José Goldemberg, José Malhões da Silva, Luiz Alfredo Salomão, Paulo Roberto de Almeida, Percy Louzada de Abreu, Vanessa Pecora e Suani Teixeira Coelho

Organizadores

Omar L. de Barros Filho e Sylvia Bojunga

Organização e edição:

Omar L. de Barros Filho e Sylvia Bojunga

Autores:

Armando Martins Laudorio, Daniel García Delgado, João Carlos França de Luca, José Alexandre Altahyde Hage, José Goldemberg, José Malhães da Silva, Luiz Alfredo Salomão, Paulo Roberto de Almeida, Percy Louzada de Abreu, Vanessa Pecora e Suani Teixeira Coelho

Design gráfico:

Antonio Mendes

Ilustrações:

Paulo Andrade

Fotografias:

Banco de imagens da Sulgás (fotos de Leonid Streliaev e Alfonso Abraham) e de Jesus Carlos

Infografia e tratamento de imagens:

Fólio Comunicação

Editoração:

Jacaranda Edição & Design

Revisão:

Ademar Vargas de Freitas

Produção:

Laser Press Comunicação

Apoio à produção:

Cristina Fraga, Janine Ponte e Mitchi Rio Apa

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

P861 Potência Brasil : gás natural, energia limpa para um futuro sustentável / Organizadores: Omar L. de Barros Filho e Sylvia Bojunga. – Porto Alegre : Laser Press Comunicação, 2008. 144 p. : il. color. ; 21 x 28 cm.

Contém fotografias, ilustrações, mapas e infográficos.
ISBN: 978-85-61450-01-4

1. Gás Natural – Brasil. 2. Desenvolvimento Sustentável – Brasil. 3. Petróleo – Brasil – Aspectos Econômicos. 4. Fontes de Energia – Brasil. I. Barros Filho, Omar L. II. Bojunga, Sylvia.

CDD 333.82

Bibliotecária Responsável: Deisi Hauensein CRB-10/1479

Perspectivas da utilização de biogás como fonte de energia



ILUSTRAÇÃO: PAULO ANDRADE

Por José Goldemberg,
Suani Teixeira Coelho
e Vanessa Pecora

1. Introdução

Atualmente, o setor energético tem significativa participação nos principais problemas ambientais enfrentados pela população mundial, pois a maior parte da energia consumida hoje é proveniente dos combustíveis fósseis que, além de não serem fontes renováveis de energia, contribuem para o agravamento do efeito estufa.

A queima de combustíveis fósseis resulta na emissão de grandes quantidades de gases tóxicos, como o dióxido de enxofre (SO_2) e o óxido de nitrogênio (NO_2). Estes gases, quando associados às gotículas de água presentes nas nuvens, retornam à Terra sob forma de ácido sulfúrico (H_2S) e ácido nítrico (HNO_3) – chuvas ácidas – afetando a fauna e a flora.

A geração de energia por meio de fontes renováveis é uma opção importante sob o ponto de vista ambiental, uma vez que permite a obtenção de energia sem recorrer à queima de combustíveis fósseis, além de colaborar com a matriz energética dos países de maneira ambientalmente correta e sustentável, e de reduzir a emissão de poluentes na atmosfera.

Dentre as diversas fontes renováveis de energia, destaca-se o biogás, mistura gasosa combustível, obtida por meio da digestão anaeróbia – processo fermentativo, sem a presença de oxigênio, em que ocorre a degradação da matéria orgânica em aterros sanitários, estações de tratamento de efluentes (ETE) e na zona rural.

A composição típica do biogás é cerca de 60 % de metano (CH_4), 35 % de dióxido de carbono (CO_2) e 5 % de outros gases (nitrogênio, hidrogênio, amônia, ácido sulfídrico, oxigênio, monóxido de carbono e aminas volá-

teis). Alguns fatores como pressão e temperatura influenciam na eficiência do processo durante a fermentação, permitindo a variação da quantidade de metano presente no biogás (40 % a 80 %).

O gás metano é um gás de efeito estufa com potencial de aquecimento global cerca de 21 vezes maior se comparado ao dióxido de carbono, sendo responsável por cerca de 20 % do aquecimento global e, por isso, sua emissão para a atmosfera deve ser evitada.

A conversão energética do biogás possibilita a redução do potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia térmica e elétrica agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos, devido à diminuição de compra da energia consumida da concessionária local.

2. Principais formas de obtenção e aplicação do biogás

2.1 Biogás proveniente de aterro sanitário

A geração de resíduos sólidos está diretamente relacionada à população urbana, seu padrão de vida e hábitos de consumo. Da coleta e disposição adequada desses resíduos depende a qualidade de vida da população, a preservação das águas subterrâneas e dos rios, e a distância dos vetores patogênicos.

O aterro sanitário é uma das formas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos e consiste no confinamento do lixo depositado no solo, coberto com camadas de terra, isolado do meio ambiente. Deve atender normas ambientais e operacionais específicas, de modo a evitar danos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos negativos.

Os resíduos sólidos urbanos, quando acu-

mulados de maneira contínua nos aterros, sofrem ação de agentes naturais, como a água da chuva e os microorganismos, que influenciam na sua decomposição, com a superposição de mecanismos físicos, químicos e biológicos. Durante o processo de digestão anaeróbia da matéria orgânica presente no lixo, ocorre a formação de dois vetores poluidores do meio ambiente: o chorume, líquido poluente, de cor escura e odor nauseante, originado da decomposição de resíduos orgânicos, e o biogás.

Geralmente, em um aterro sanitário, tubos de sucção de biogás são colocados na horizontal quando o lixo ainda está sendo depositado. Em alguns pontos determinados na área do aterro são colocados tubos verticais perfurados, conectados aos horizontais, possibilitando a extração do biogás. Em cada tubo vertical é conectada uma tubulação de transporte do biogás, que vai encaminhá-lo ao sistema de queima em *flare*. Ou, então, ao sistema de geração de energia elétrica.

O chorume é captado por meio de tubulações horizontais, implementadas durante o aterramento do lixo, e escoado para tanques de tratamento ou para tanques de retenção, onde é armazenado e, posteriormente, transportado para uma estação de tratamento.

Para evitar a poluição dos recursos hídricos, o chorume deve ser devidamente coletado, e o solo impermeabilizado, por meio de camadas de argila e geomembrana de polietileno de alta densidade (PEAD).

Se o biogás gerado em aterros sanitários não for captado e controlado corretamente, ele representa riscos ao meio ambiente e à população, pois pode migrar para as áreas próximas ao aterro ou emanar pela superfície do mesmo.

A recuperação do biogás produzido em aterro sanitário possibilita a geração de energia elétrica e térmica. Um projeto de aproveitamento do biogás é implementado de acordo com as necessidades energéticas do local.

De um modo geral, o processo de recuperação do biogás em aterros sanitários é incompleto, pois só permite o aproveitamento de 40 % a 60 % do total produzido, devido à falta de eficiência da coleta.

A energia elétrica gerada por meio do biogás em um aterro sanitário colabora para o aumento de eficiência energética local, tornando-o auto-suficiente. Além disso, há possibilidade do aterro comercializar a energia elétrica excedente e os créditos de carbono obtidos pela queima do metano e transformação em dióxido de carbono.

Atualmente o Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio) (<http://cenbio.iee.usp.br>) está desenvolvendo um projeto de geração de energia elétrica e iluminação a gás, utilizando biogás proveniente do aterro sanitário da Essencis-CTR Caieiras, financiado pelo Ministério de Minas e Energia (MME). O projeto consiste na instalação e operação dos sistemas, além da análise técnica e econômica para a verificação da viabilidade de implementação em outros aterros sanitários.

O sistema de iluminação a gás tem por objetivo iluminar a planta de biogás no período noturno, por meio de sete postes automatizados, contendo quatro pontos luminosos cada um, cujo sistema de funcionamento consiste na queima direta do biogás.

O sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás consiste em um motor ciclo Otto adaptado, de potência nominal de 230 kW,

acoplado a um gerador, cuja energia gerada será interligada à rede de distribuição local.

2.2 Biogás proveniente do tratamento de efluentes

No Brasil, cerca de 79 % dos distritos não dispõem de coleta nem de tratamento adequado do esgoto (PNSB/IBGE, 2000). Se o efluente for lançado diretamente nos corpos d'água sem tratamento, acarretará contaminação do solo e das águas superficiais e subterrâneas, constituindo assim, perigosos focos de disseminação de doenças.

Dentre as diversas alternativas disponíveis para o tratamento de efluentes líquidos, destaca-se a digestão anaeróbia. Os digestores anaeróbios, ou biodigestores, são equipamentos utilizados para digestão de matérias orgânicas presentes nos efluentes líquidos. A digestão anaeróbia dos efluentes permite a redução de seu potencial poluidor além da recuperação da energia na forma de biogás.

Os biodigestores são câmaras fechadas, nas quais é adicionado o efluente rico em material orgânico e, por meio da decomposição anaeróbia, ocorre a diminuição da quantidade de sólidos e de microorganismos patogênicos. Os modelos de biodigestores mais utilizados para o tratamento de efluentes líquidos são: Chinês, Indiano e RAFA (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente).

O processo de digestão anaeróbia tem quatro fases: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese. Somente nesta última fase ocorre a formação do biogás – composto, principalmente, por CH_4 e CO_2 – que pode ser utilizado como fonte de energia. O Fluxograma mostra o processo geral da decomposição anaeróbia da matéria orgânica.

PROCESSO DE DECOMPOSIÇÃO ANAERÓBIA



O lodo resultante do processo de fermentação tem alto valor nutricional para plantios, e o efluente biodigerido pode, ainda, passar por um sistema de pós-tratamento antes de ser lançado nos corpos d'água. É importante ressaltar que essa prática deve atender às normas ambientais, como as Resoluções Conama nº 357, de 17 de março de 2005, e nº 397, de 3 de abril de 2008.

A coleta de biogás proveniente do tratamento anaeróbio do esgoto é realizada por

meio de tubulação conectada à parte superior do biodigestor. Essa tubulação direciona o biogás ao sistema de purificação para, em seguida, ser encaminhado ao sistema de conversão energética ou ao sistema de queima em *flare*.

A utilização do biogás não deve ser feita de forma direta. Algumas impurezas nele contidas devem ser removidas após a coleta e antes da sua aplicação em algum processo. Na utilização do biogás como combustível,



Biodigestor RAFA

Fonte: Cenbio, 2003.

por exemplo, o tratamento mínimo requerido é a remoção da umidade e do gás sulfídrico (H_2S), evitando assim possíveis danos aos equipamentos que compõem o processo de conversão energética do biogás.

Além da geração de energia elétrica, que pode ser injetada na rede de distribuição local, o biogás pode ser utilizado para a geração de energia térmica, e o calor gerado pode ser utilizado no aquecimento dos próprios biodigestores. Ambos os sistemas proporcionam ganho na economia da estação de tratamento de efluente, pelo simples fato de reduzir a demanda energética.

O Cenbio desenvolveu dois projetos referentes à conversão energética do biogás proveniente do tratamento de esgoto. O projeto Energ-Biog, instalado na Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (Sabesp), em Barueri (SP), teve como objetivo a geração de energia elétrica a partir do biogás, utilizando uma microturbina e um motor ciclo Otto, ambos de 30 kW, como tecnologias de conversão energética.

O projeto Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas (Purefa) foi um projeto da Universidade de São Paulo (USP), em que o Cenbio implementou um sistema de

captação, purificação e armazenamento do biogás, produzido por um reator UASB (*up flow anaerobic sludge blanket*), também conhecido como biodigestor RAFA (reator anaeróbio de fluxo ascendente) com manto de lodo, localizado no Centro Tecnológico de Hidráulica (CTH) da USP. O esgoto tratado é proveniente do conjunto residencial da USP (Crusp) e é equivalente à produção de cerca de 439 pessoas, segundo cálculos demonstrados por Pecora (2006).

O biogás armazenado é utilizado como combustível em um sistema de geração de energia elétrica. A tecnologia utilizada na conversão energética é um motor ciclo Otto de 18 kW.

Para esta pequena unidade, o aproveitamento do biogás para geração de energia elétrica torna-se inviável economicamente, pois a quantidade de energia gerada pelo sistema é baixa em relação à demanda de energia do CTH.

As metas desenvolvidas no estudo de caso tiveram como finalidade verificar a viabilidade do uso de biogás para geração de energia elétrica em um motor ciclo Otto. Sendo assim, a inviabilidade econômica do sistema não foi levada em consideração, já que se trata de projeto piloto.

2.3 Biogás proveniente do tratamento de resíduos na zona rural

Os resíduos rurais incluem todos os tipos de resíduos gerados pelas atividades produtivas nas zonas rurais: resíduos agrícolas, florestais e pecuários.

Os resíduos agrícolas são aqueles produzidos no campo, como os resultantes das atividades de colheita e do processamento dos produtos agrícolas e, em sua grande maioria,

são deixados no próprio terreno de cultivo, servindo como adubo ou proteção ao solo.

Os resíduos florestais são aqueles gerados na floresta, como resultado das atividades de colheita de produtos florestais e de tratamentos da silvicultura. As atividades extrativistas da madeira desenvolvem-se de forma intensa de norte a sul do país.

Os resíduos pecuários são aqueles resultantes da atividade pecuária intensiva ou extensiva, como esterco e outros produtos da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino e outros. Este tipo de resíduo é importante matéria-prima para a produção de biogás, que pode ter papel fundamental no suprimento energético da zona rural.

Na zona rural, a atividade mais importante para a produção e utilização do biogás é o manejo e disposição dos dejetos suínos, devido ao seu alto potencial poluidor.

As propriedades rurais, principalmente aquelas voltadas para a criação e abate de animais e aves, produzem diariamente grande quantidade de dejetos e de resíduos derivados da terminação desses rebanhos: sangue, carcaças, vísceras e couro, entre outros.

No Brasil, a suinocultura é uma atividade predominante em pequenas propriedades rurais. Além de fixar o homem no campo, é uma atividade importante do ponto de vista econômico e social, pois emprega mão-de-obra tipicamente familiar e constitui considerável fonte de renda e de estabilidade social (PERDOMO et. al., 2004).

Os dejetos suínos são produzidos e coletados em todas as etapas da suinocultura: gestação, maternidade, engorda (ou creche) e terminação. Para o seu tratamento, são utilizados biodigestores rurais, em que

ocorre a decomposição anaeróbia da matéria orgânica. Durante o tratamento, há formação do biogás, que pode ser utilizado para a geração de energia elétrica, para a secagem de grãos nas propriedades rurais e para o aquecimento de granjas, além de outras atividades.

O resíduo formado no biodigestor durante a digestão anaeróbia dos dejetos suínos, também conhecido como lodo, pode ser utilizado como fertilizante natural para as plantas. O efluente tratado, que sai do biodigestor, pode ser utilizado na fertirrigação.

3. Conversão energética do biogás – principais tecnologias

A conversão energética do biogás é o processo de transformação da energia química das moléculas do biogás, por meio de combustão controlada, em energia mecânica ou térmica. A energia mecânica, por sua vez, ativa um gerador que a converte em energia elétrica.

Dentre as tecnologias mais utilizadas, destacam-se as microturbinas e motores de combustão interna – ciclo Otto e motores Stirling –, porém existem outras possibilidades, como a queima direta do biogás em caldeiras, para geração térmica

3.1 Motor de combustão interna Ciclo Otto

Os motores de combustão interna são máquinas térmicas em que a energia química do combustível se transforma em energia mecânica, por meio da combustão da mistura de ar e combustível. O motor ciclo Otto caracteriza-se por ter ignição por faísca e é o equipamento mais utiliza-



Motor Stirling
Fonte: NEST, 2008.

do para queima do biogás, devido ao maior rendimento elétrico e menor custo, quando comparado às outras tecnologias. Para promover a queima de biogás em motores ciclo Otto, são necessárias pequenas modificações nos sistemas de alimentação, ignição e taxa de compressão.

Motores a biogás de grande porte têm o inconveniente de ser importados, já que, no Brasil, a maior potência disponível é de cerca de 230 kW, da empresa Brasmetano Indústria e Comércio Ltda. Segundo a Brasmetano, o rendimento desses motores é de aproximadamente 28 %, e a geração de energia elétrica é realizada pelo grupo gerador, acoplado diretamente ao motor.

3.2 Motor Stirling

O motor Stirling é um motor de combustão externa, que pode ser utilizado em projetos de micro-geração de energia a biogás. Seu princípio de funcionamento baseia-se em um ciclo fechado, no qual o fluido de trabalho é mantido dentro de cilindros e, então, determinada quantidade de calor é adicionada ao espaço de trabalho, por meio de trocadores de calor. O fluido de trabalho do motor Stirling pode ser hidrogênio ou hélio, e seu aquecimento pode ser realizado a partir de qualquer fonte de calor.

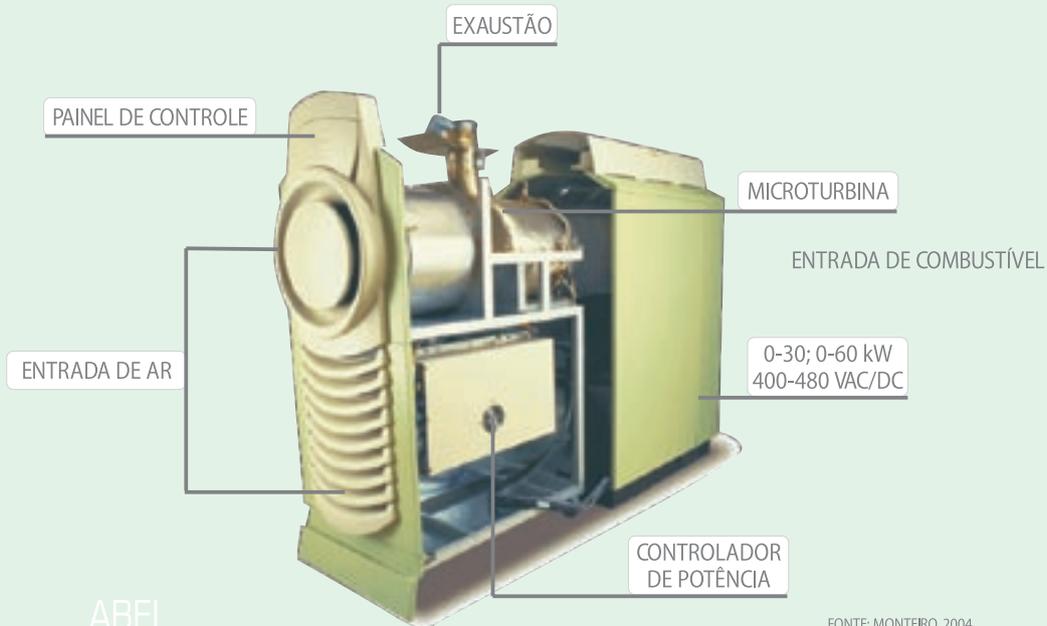
Dentre os atrativos do uso de motores Stirling, está a possibilidade de cogeração e utilização de grande variedade de combustíveis, o baixo nível de ruído e a eficiência global de cerca de 30 %. Porém, este motor exige materiais de alta qualidade, visto que seu funcionamento está condicionado a um contínuo aquecimento externo, e os testes realizados até hoje compreendem motores de baixa potência e pouca variedade de combustíveis (NEST, 2007). Uma das empresas fabricantes de motores Stirling é a SunPower – Smarter Solar™. Segundo a fabricante, seus motores têm rendimento de 32 %.

A fotografia acima mostra um motor Stirling, acoplado a um gerador.

3.3 Microturbina a gás

As microturbinas são pequenas turbinas de combustão que operam na faixa de 20 kW a 350 kW, com elevada velocidade de rotação e diversos tipos de combustível, entre eles o biogás. Nas microturbinas, o ar é aspirado e forçado para o interior em alta velocidade e pressão, misturado ao combustível para, então, ser queimado na câmara de combustão. Os gases quentes resultantes da combustão são expandidos na turbina, e o calor remanescente dos gases de exaustão pode ser aproveitado para aquecimento do ar de combustão. Uma das empresas fabricantes de microturbina é a Capstone Turbine Corporation®, que foi a primeira empresa a introduzir essa tecnologia no mercado.

COMPONENTES DO SISTEMA DE MICROTURBINA



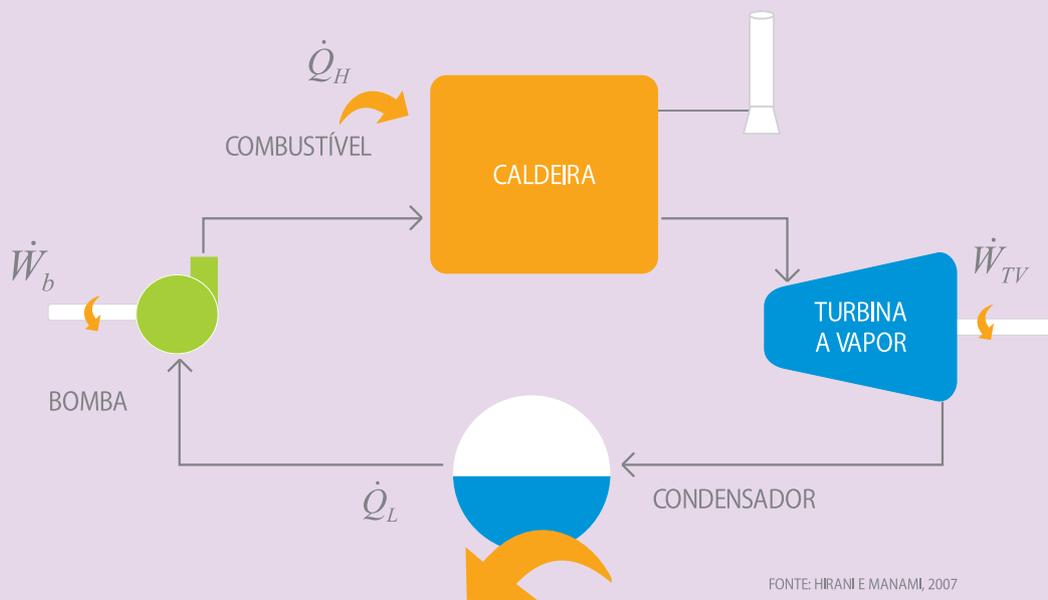
Dentre os benefícios apresentados na utilização de microturbinas, destacam-se as baixas emissões atmosféricas, os baixos níveis de ruído e vibração, a flexibilidade de combustível, as dimensões reduzidas e a simplicidade de instalação, podendo ser instalada em locais cobertos ou ao ar livre (HAMILTON, 2003). Porém, algumas barreiras ainda impedem sua larga utilização, como o alto custo de operação e de manutenção e a menor eficiência, quando comparada a outras tecnologias existentes. Além disso, para utilizar um gás de baixo poder calorífico, é necessário remodelar a microturbina e limpar o gás antes de queimá-lo. O imagem acima mostra os componentes do sistema de uma microturbina.

3.4 Sistemas de ciclo a vapor

Os sistemas de ciclo a vapor funcionam de acordo com o ciclo Rankine, que consiste basicamente em caldeira, turbina, condensador e bomba. Neste ciclo é utilizado calor proveniente da combustão de determinado combustível, em uma caldeira, para geração de vapor, que poderá ser utilizado para processos industriais, aquecimento direto ou geração de energia elétrica, por meio do acionamento de uma turbina a vapor acoplada a um gerador.

O rendimento térmico obtido por meio deste sistema é de cerca de 30 %. A adaptação dos equipamentos para uso do biogás pode ser realizada com pequenas modificações, buscando a adequação às características do novo combustível. Para o controle do nível de

SISTEMA DE CICLO A VAPOR - CICLO RANKINE



umidade do gás são utilizados purgadores e linhas de condensado, impedindo, desta forma, danos aos equipamentos e problemas na operação das caldeiras.

A corrosão é outro problema para a adaptação de caldeira para biogás, uma vez que compostos presentes neste gás comprometem pré-aquecedores de ar, tubulações e outros componentes. Deve-se realizar manutenção regular, impedindo, desta maneira, a formação de depósitos de sílica, enxofre e cloro nos equipamentos.

4. Aspectos econômicos

Quando o biogás é utilizado como combustível para a geração de energia elétrica, o primeiro fator econômico a ser analisado é o da utilização de um gás combustível de baixo

custo, por ser considerado um subproduto do processo de digestão anaeróbia.

Normalmente, o biogás é emitido diretamente na atmosfera, agravando o impacto ambiental por meio da emissão de gases efeito estufa, ou queimado em *flares*, minimizando o impacto ambiental devido à transformação do metano em dióxido de carbono.

Como citado anteriormente, o biogás pode ser obtido e utilizado para fins energéticos em unidades de tratamento de efluentes e em aterros sanitários, apresentando diferentes perspectivas para esses segmentos. No primeiro caso, o biogás pode contribuir sensivelmente para a diminuição do consumo de eletricidade em ETE (estações de tratamento de esgoto). Vale ressaltar, porém, que o volume de biogás gerado

em ETE, por meio da digestão anaeróbia do esgoto, não permite sua auto-suficiência, devido à alta demanda de energia na unidade (COELHO et. al., 2003).

Segundo informações da Câmara Municipal de Barueri (2007), se a Sabesp – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo, em Barueri, aproveitasse todo o biogás produzido para a geração de energia elétrica, atenderia cerca de 80 % da demanda energética da estação.

Durante a execução do projeto Energ-Biog, desenvolvido pelo Cenbio, foram feitos cálculos da geração de energia elétrica utilizando microturbina e motor ciclo Otto, ambos de 30 kW.

O custo de geração com a microturbina e com o grupo gerador levou em conta o investimento total com equipamentos da instalação, somando os custos de operação e manutenção, em função da energia elétrica disponibilizada pelo sistema, considerando seu regime de operação e o tempo de vida útil do equipamento gerador.

O custo total de geração utilizando a microturbina foi de R\$ 247.852,36. E o custo de geração utilizando o grupo gerador foi de R\$ 27.906,82. A relação de custo total por kW instalado foi de 0,3178 R\$/kWh para a microturbina e de 0,2233 R\$/kWh para o grupo gerador.

Segundo cálculos realizados a partir de dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB IBGE, 2000), o tratamento de esgoto no Brasil proporcionaria um potencial de aproximadamente 20 MW, caso todo o biogás produzido nos biodigestores fosse utilizado como combustível em tecnologias de conversão energética.

Na zona rural, o maior potencial de geração de biogás é proveniente do tratamento anaeróbio dos dejetos da suinocultura e, de acordo com cálculos realizados a partir de dados da Pesquisa Agropecuária Municipal (IBGE, 2005), o potencial pode chegar a aproximadamente 77 MW.

Nas propriedades rurais, o biogás pode ser utilizado, também, para a geração de energia térmica e secagem de grãos, contribuindo ainda mais para a diminuição do consumo de energia proveniente da rede da concessionária local. Dependendo do tamanho do rebanho existente na propriedade e da quantidade de biogás produzido, existe a possibilidade da unidade tornar-se auto-suficiente.

Um estudo realizado, em 2004, na Fazenda Ponte Alta, localizada no município de Itararé, a 340 km de São Paulo, mostrou que a fazenda possuía um rebanho de 16.000 cabeças de suínos, sendo 1.600 matrizes. Os dejetos produzidos eram tratados em biodigestores e o biogás era utilizado para a geração de energia elétrica, aquecimento dos leitões por queima direta e secagem de grãos, como o trigo, produzidos na própria fazenda.

Para um sistema de geração de energia elétrica de 85 kW, houve investimento de aproximadamente R\$ 200.000,00 em equipamentos. A energia elétrica líquida (média) entregue à rede era de 74 kWh. A relação custo por kW instalado era da ordem de 0,09 R\$/kWh.

Antes da implementação desse projeto, a demanda energética da fazenda era de 24.000 kWh/mês. Após a implementação e início de operação, a fazenda passou a consumir cerca de 6.300 kWh/mês de energia proveniente da rede da concessionária lo-

cal, o que significa, aproximadamente, 74 % de redução de gastos com a compra de energia elétrica.

Em aterros sanitários, o volume de biogás produzido permite, além da auto-suficiência energética, devido à baixa demanda de energia, a geração de excedentes que podem ser comercializados, proporcionando receita adicional ao aterro sanitário. Para isso, é necessário que os aterros tenham estrutura adequada e condições para a comercialização dos excedentes gerados, permitindo atrativas taxas de retorno perante o investimento.

No aterro sanitário da Essencis-CTR Caieiras, onde será implementado o projeto que está em desenvolvimento pelo Cenbio, serão investidos cerca de R\$ 750.000,00 com equipamentos pertencentes ao sistema de geração de energia elétrica de 230 kW. A energia elétrica líquida (média) a ser entregue à rede será de 200 kWh. A relação custo por kW instalado será de 0,056 R\$/kWh.

A demanda energética do aterro sanitário da Essencis-CTR Caieiras é, em média, 150 kWh (108.000 kWh/mês). Se essa demanda não aumentar, com a instalação do sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás, o aterro se tornará auto-suficiente e ainda gerará excedente de energia, que poderá ser comercializado.

Segundo cálculos realizados a partir de dados da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000), com o aproveitamento energético do biogás proveniente de aterros sanitários no Brasil, seria possível atingir o potencial de 350 MW.

Embora esses números contribuam com a matriz energética nacional, o potencial de energia disponível nesses setores é baixo

quando comparado com o consumo de energia elétrica do país que, em julho de 2008, atingiu 32.509 GWh (EPE, 2008).

5. Vantagens ambientais do aproveitamento do biogás para fins energéticos

A queima de combustíveis fósseis libera gases e material particulado para a atmosfera, tais como: óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono e pequenas quantidades de metais tóxicos. Além de riscos à saúde humana, os compostos de enxofre e nitrogênio liberados pela queima desses combustíveis causam danos aos ecossistemas e construções, ao retornarem à superfície da terra em forma de chuva ácida. Em termos ambientais, os benefícios atribuídos à utilização do biogás estão vinculados ao tipo de aproveitamento a que ele será destinado.

A emissão de biogás para a atmosfera provoca impactos negativos ao meio ambiente e à sociedade, na medida em que contribui para o agravamento do efeito estufa por meio da emissão de metano. Estudos científicos demonstram que o metano e o dióxido de carbono são os principais responsáveis pelo aumento de temperatura da Terra, contribuindo, respectivamente, com 17 % e 50 % do efeito estufa (CEPEA/FEALQ, 2004).

Embora o percentual de contribuição do metano seja menor que o dióxido de carbono para o aumento do efeito estufa, sua ação específica é mais intensa. O metano é cerca de 21 vezes mais prejudicial ao meio ambiente que o dióxido de carbono, ou seja, é mais ativo na retenção de calor na estratosfera. A emissão de biogás provoca, também, odores desagradáveis, devido aos

gases fétidos e tóxicos e à concentração de compostos de enxofre presentes no gás.

As vantagens da utilização do biogás como fonte de energia estão relacionadas às emissões evitadas pela geração de energia elétrica a partir de fonte renovável de energia, à eficiência dos sistemas de conversão, à diminuição da demanda de energia proveniente das concessionárias locais e à possibilidade de receita adicional com a obtenção e comercialização de créditos de carbono, no âmbito do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

6. Barreiras existentes e políticas de incentivo à utilização do biogás como fonte de energia

6.1 Barreiras existentes

Para a inserção das energias renováveis na matriz energética brasileira, é necessário que algumas barreiras econômicas, tecnológicas e políticas, sejam enfrentadas.

O alto custo de capital inicial de um sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás pode ser considerado uma barreira econômica. Além disso, o preço da energia gerada a partir desta tecnologia é elevado, o que torna o biogás menos competitivo que as fontes de energia atualmente utilizadas. Como exemplo, pode-se citar a venda da energia gerada nos aterros sanitários (Bandeirantes e São João), no estado de São Paulo, que apresenta valor na faixa de 200 a 275 R\$/MWh gerados.

Quanto às barreiras tecnológicas, para a implementação de um sistema de aproveitamento energético do biogás, tanto em ETE quanto em aterros sanitários e propriedades rurais, deve-se levar em consideração que

alguns equipamentos e produtos específicos não são nacionais (compressores, medidores de vazão, filtros, entre outros), impactando nos custos de capital dos projetos (impostos, taxas de câmbio, entre outros), além dos custos elevados das tecnologias de conversão energética. A falta de leis que incentivem o mercado nesse sentido é outro fator negativo à utilização desta fonte de energia, seja na adoção de políticas de incentivo (tarifárias e subsídios), seja com instrumento de regulação (tecnologias mais eficientes).

Como não há obrigatoriedade legal para compra de eletricidade gerada a partir de fontes renováveis, as concessionárias podem escolher outras opções na oferta de energia. A proposta de lei que obriga a compra de energia por fontes renováveis não conseguiu obter o apoio das concessionárias na época em que estava em discussão, podendo se caracterizar como barreira política.

6.2 Políticas de incentivo

A geração de eletricidade no Brasil é fortemente baseada em grandes centrais hidrelétricas (~73 %), seguidas pelas centrais termelétricas a combustíveis fósseis (~22 %) (ANEEL, 2008). As centrais a biomassa, juntamente com outras fontes renováveis alternativas, somam aproximadamente apenas 4,5 % da capacidade instalada.

O cenário de referência, ou linha de base, que representa as emissões de gases efeito estufa no Brasil é a geração proveniente de hidrelétricas, onde essas emissões são consideradas desprezíveis. Por isso, é questionada a efetividade da instalação de centrais a biomassa para a redução de emissão de gases causadores de efeito estufa. Contudo, os

projetos que envolvem fontes renováveis de energia elétrica devem considerar a energia que realmente seria deslocada pela instalação da fonte renovável e não o deslocamento da energia de base (LEME et. al., 2004).

Além das perspectivas de maior desenvolvimento das energias renováveis em todo o mundo, existem mecanismos de incentivos ao uso da biomassa para geração de energia elétrica que vêm sendo utilizados pelo setor elétrico brasileiro. Um destes mecanismos é o Proinfa – Incentivo às Fontes Alternativas de Energia Elétrica, Lei Federal nº 10.438, de 2002, que estabelece a adição de 3.300 MW de potência instalada a partir de fontes renováveis de energia ao sistema elétrico brasileiro. Este total é dividido entre as fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas e biomassa. Além disso, o Programa estabelece que os produtores desta energia tenham a garantia de venda por um prazo de até 20 anos e, o estabelecimento, de um valor de referência compatível com as características técnicas e econômicas de cada projeto. (Informações fornecidas por consultor MME - Ministério de Minas e Energia).

Entretanto, as baixas tarifas ofertadas para a geração com biomassa impediram que fosse atingido o limite de 1.100 MW para biomassa. No caso do biogás, inicialmente, o Proinfa abrangeria seu aproveitamento energético somente quando proveniente de aterros sanitários, já que o valor econômico de sua utilização para geração de energia elétrica seria da ordem de 169,08 R\$/MWh (MME, 2004). Porém, por falta de projetos nessa área no período em que o Proinfa foi instituído, apenas a madeira e o bagaço de cana-de-açúcar permaneceram na proposta final do Programa, no âmbito da biomassa.

Outro mecanismo de incentivo é o Protocolo de Quioto, do qual fazem parte 39 países industrializados, listados no Anexo I do Protocolo, que se comprometeram a reduzir, ou limitar, as emissões dos gases efeito estufa. Por meio deste Protocolo, foram criados três instrumentos econômicos de flexibilidade para apoiar essas reduções (Fiesp/Ciesp, 2001):

1. Comércio de Emissões (*Emissions Trade*), restrito a empresas de países desenvolvidos (Anexo I do Protocolo), que permite a compra e venda do direito de emissão de gases efeito estufa;

2. Implementação Conjunta (*Joint Implementation - JI*), no qual estabelece que os países constantes no Anexo I do Protocolo conduzam, entre si, projetos para redução da emissão;

3. Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) ou *Clean Development Mechanism* (CDM), que permite aos países não listados no Anexo I do Protocolo, como o Brasil, a comercialização dos créditos de carbono com países emissores que não atingirem as metas de redução consentidas entre as partes.

4. O MDL busca a redução das emissões de gases efeito estufa em países em desenvolvimento, por meio de países desenvolvidos e/ou em desenvolvimento, na forma de sumidouros, investimentos em tecnologias mais limpas, eficiência energética e fontes alternativas de energia. Nesse mecanismo, as emissões são verificadas e, então, certificadas por meio da emissão do CER (Certificado de Redução de Emissões).

Com a ratificação do Protocolo, os países listados no Anexo I comprometem-se a reduzir suas emissões, entre os anos de 2008 e 2012, em aproximadamente 5 % em relação

aos níveis de 1990. Tal compromisso, com vinculação legal, pretende produzir uma reversão da tendência histórica de crescimento das emissões iniciadas nesses países há cerca de 150 anos.

A geração de energia elétrica a partir de biogás pode contribuir para a diversificação da matriz energética brasileira, diminuindo o consumo de energia proveniente das concessionárias locais. A implementação e operação de um sistema de geração de energia elétrica a partir do biogás possibilita a venda de excedente de energia para a rede de distribuição local, além de, em alguns casos, tornar o estabelecimento auto-suficiente. Para que essa venda seja atrativa, tanto para o consumidor, quanto para o negociante, o valor da energia deve ser em torno de 160,00 R\$/MWh, valor próximo ao pré-estabelecido pelo Proinfa.

Além disso, a possibilidade da obtenção dos créditos de carbono torna o empreendimento ainda mais atrativo. Exemplos dessa negociação foram os leilões que ocorreram no estado de São Paulo. O primeiro leilão de crédito de carbono foi realizado em 2007, quando foram negociadas 808.450 toneladas de dióxido de carbono pertencentes ao aterro Bandeirantes, por 16,20 euros a tonelada. Em setembro de 2008, ocorreu o segundo leilão, quando foram negociadas 454.657 toneladas de dióxido de carbono, pertencentes ao Aterro Sanitário Bandeirantes, e outras 258.657 toneladas, originárias do Aterro Sanitário São João, por 19,20 euros a tonelada.

6.3 Propostas de novas políticas

Para sistemas de energia descentralizada a partir de biogás, além do Proinfa e do MDL,

destaca-se a necessidade de implementação de algumas diretrizes políticas, legislativas, administrativas e institucionais, tecnológicas e financeiras, e fiscais.

Diretrizes políticas

- Adequar as políticas governamentais de tarifas, preços mínimos, incentivos fiscais e de tecnologia, de forma a promover o desenvolvimento da energia a partir do biogás.

- Garantir a continuidade dos programas de energia a partir de biomassa já implantados, otimizando fatores tecnológicos e custos, visando ganhos de competitividade.

- Incentivar a utilização da energia térmica proveniente do biogás, a fim de reduzir a instalação de aquecimento elétrico.

- Propor programas específicos, de caráter regional, através da realização de projetos de desenvolvimento social.

- Incentivar a formação de cooperativas, visando promover, implementar e assegurar a produção de biogás destinado à geração de energia.

- Destacar nas negociações multilaterais os benefícios ambientais decorrentes da utilização do biogás para geração de energia, visando obter recursos dos países com maiores níveis de emissão de poluentes.

Com relação às Diretrizes Legislativas, Administrativas e Institucionais, as propostas são as seguintes:

- Promover a regulamentação da participação do capital privado, nacional e estrangeiro, na geração de energia a partir de biogás.

- Estabelecer regulamentação específica para compra, venda e transporte de energia elétrica, produzida a partir de biogás.

- Definir órgão de certificação e homologa-

ção da tecnologia nacional, visando reconhecimento internacional.

- Viabilizar processos de incubação de empresas emergentes como ação do Estado para apoiar as iniciativas industriais e rurais sobre a energia a partir do biogás.

Diretrizes tecnológicas

- Inventariar, sob coordenação dos órgãos municipais e estaduais, com o apoio de órgãos do Governo Federal, o potencial de energia disponível a partir de biogás.

- Estabelecer e divulgar um zoneamento dos potenciais de biogás existentes no território nacional, considerando aspectos regionais e os impactos sobre o meio ambiente.

- Identificar e apoiar Centros de Excelência, Centros de Desenvolvimento Regional e laboratórios especializados de energia proveniente de biomassa, fortalecendo estas instituições e priorizando os recursos disponíveis.

- Estimular a realização de projetos visando a demonstração da viabilidade técnica, econômica e socioambiental da utilização do biogás, e a formação de recursos humanos.

- Estimular as instituições de pesquisa e desenvolvimento a realizar programas cooperativos, direcionando as atividades para tecnologias de produção e aproveitamento de biogás economicamente viável num mercado competitivo.

Diretrizes financeiras e fiscais

- Criar mecanismos compensatórios para os produtores de energia que utilizem biogás, tais como a depreciação acelerada e créditos tarifários por período definido, visando cobrir diferenças de custos operacionais.

- Isentar os impostos de importação, como o ICMS e o IPI, para equipamentos de geração de energia a partir de biogás, especialmente aqueles com similar nacional.

- Estabelecer mecanismos de incentivos fiscais, temporários e decrescentes, para os produtores e consumidores que utilizem energia a partir de biogás, sobretudo em projetos de demonstração.

- Privilegiar o uso de energia a partir de biogás na implementação de programas de desenvolvimento social.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. *BIG – Banco de Informações de Geração*, 2008. Data de acesso: setembro de 2008. Disponível em www.aneel.gov.br
- CÂMARA MUNICIPAL DE BARUERI. Notícia: *Vereadores conhecem a ETE de Barueri*, 2007. Data de acesso: setembro de 2008. Disponível em <http://www.camara-barueri.sp.gov.br/noticias/26042007/vereadoresvisitamETE.htm>
- CENBIO – Centro Nacional de Referência em Biomassa. Biogás e o Mercado de Crédito de Carbono. Nota Técnica VIII. Disponível em http://cenbio.iee.usp.br/download/documentos/notatecnica_viii.pdf
- 2003a. *Projeto Instalação e Testes de uma Unidade de Demonstração de Geração de Energia Elétrica a partir de Biogás de Tratamento de Esgoto – ENERGBIOG*. Relatórios de Atividades. Relatórios Técnicos. São Paulo, 2003 - 2005.
- 2003b. *Projeto Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas – PUREFA*. Relatórios de Acompanhamento. São Paulo, 2003 - 2005.
2007. *Aproveitamento do Biogás Proveniente do Tratamento de Resíduos Sólidos Urbanos para Geração de Energia Elétrica e Iluminação a Gás*. Relatórios de Acompanhamento. São Paulo, 2007 - 2008.
- CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada / FEALQ – Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiróz. *Estudo do potencial de geração de energia renovável proveniente dos “aterros sanitários” nas regiões metropolitanas e grandes cidades do Brasil*. Piracicaba, 2004.
- COELHO, S.T.; VELÁZQUEZ, S.M.S.G.; SILVA, O.C.; VARKULYA JR. A.; PECORA, V. *Programa de Uso Racional de Energia e Fontes Alternativas – PUREFA*. Trabalho apresentado no Congresso Instituto de Ciência e Tecnologia em Resíduos e Desenvolvimento Sustentável (ICTR). São Paulo, 2003.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. *Resenha mensal do mercado de energia elétrica – Ano I/Número 11 – Agosto de 2008*. Data de acesso: agosto de 2008. Disponível em http://www.epe.gov.br/ResenhaMensal/20080828_1.pdf
- FIESP – Federação das Indústrias do Estado de São Paulo / CIESP – Centro das Indústrias do Estado de São Paulo. *Ampliação da oferta de energia através da biomassa*. São Paulo, 2001.
- HAMILTON, S. L. *Microturbine Generator Handbook*. PennWell Corporation, 2003.
- HIRANI, E. W.; MAMANI, L. A. G. *Algoritmos Evolucionários para Otimização Multi-objetivo no Projeto de Sistemas Térmicos*, 2007. Data de acesso: agosto de 2008. Disponível em <http://www.das.ufsc.br/~gb/pg-ic/multiGA/DAS%206652%20-%20Apresenta%E7%E3o.ppt#256,1,Slide1>
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Nacional de Saneamento Básico*, 2000.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Pesquisa Agropecuária Municipal*, 2005.
- JUNIOR, A. B. C. *Simulação do comportamento de um resíduo modelo em aterro sanitário e estudo da evolução bio-físico-química/INSA de Lyon – France*, 2000.
- LEME, R.M.; CUNHA, K.B.; WALTER, A. *Adicionalidade em Projetos de MDL e a Cogeração no Setor Sucroalcooleiro Brasileiro*. In: 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, 2004, Campinas. Anais do 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída. Campinas : Núcleo Interdisciplinar de Planejamento Energético, 2004.
- MME – Ministério de Minas e Energia. *Governo Regula o PROINFA*, 2004. Data de acesso: setembro de 2008. Disponível em <http://www.mme.gov.br>
- MONTEIRO, C. *Microturbinas. Produção e Transporte de Energia II*. LEEC – Faculdade de Engenharia da FEUP, 2004. Data de acesso: dezembro de 2007. Disponível em http://paginas.fe.up.pt/~fmb/PTE2/Apontamentos%20PTE2/PTE2_Microturbinas.pdf
- NEST – Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica Distribuída. *Custos da Obtenção do H₂ a partir da Biomassa e Viabilidade da Geração de Eletricidade com Diferentes Tecnologias de Conversão*. 8º Congresso Iberoamericano de Engenharia Mecânica. Cusco, 2007.
- NEST – Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída. *Teste Motor Stirling ST 05 G*, 2008.

Data de acesso: setembro de 2008. Disponível em:
<http://www.nest.unifei.edu.br/>

PECORA, V., *Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP – Estudo de Caso* (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

PERDOMO, C.C.L.; GUSTAVO J.; SCOLARI, T. M. *Tratamento dos Dejetos da Suinocultura, 2004*. Data de acesso: setembro de 2008. Disponível em:
<http://209.85.165.104/search?q=cache:OUgvQJeOxj>

www.ambienteemfoco.com.br/%3Fm%3D200601+perdomo+suinocultura+2004+scolari+dejetos&hl=pt-BR&ct=cInk&cd=4&gl=br&lr=lang_pt

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico / IBGE – Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Número de distritos com tratamento de esgoto sanitário por tipo de sistema de tratamento, 2000*.

Wikipédia – A enciclopédia livre. *Imagem: STM Stirling Generator set.jpg*. Data de acesso: setembro de 2008. Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:STM_Stirling_Generator_set.jpg

Agradecimentos

Agradecemos pela colaboração da pesquisadora Natalie Jimenez Verdi de Figueiredo, do Centro Nacional de Referência em Biomassa (Cenbio), na elaboração deste capítulo.

Sobre os autores

Armando Martins Laudorio

Graduado em Engenharia Mecânica e Administração de Empresas, com curso na área de Gás Natural – Suprimentos e Contratos, e MBA em Concessões e Regulação pela Fundação Getúlio Vargas (FGV), é o atual presidente da Associação Brasileira das Empresas Distribuidoras de Gás Canalizado (Abegás). Diretor de Serviços Jurídicos e Investidores da CEG e da CEG RIO e membro do Conselho do Centro de Integração Empresa-Escola/RJ, foi também coordenador da Comissão de Gás do Instituto Brasileiro do Petróleo (IBP), membro da Comissão de Gás do Ministério de Minas e Energia (MME) e coordenador de Gás Natural do Sindicato das Distribuidoras de Combustíveis.

Daniel García Delgado

Doutor em Ciência Política, dirige a área de estudos sobre Estado e Políticas Públicas da *Facultad Latinoamericana de Ciencias Sociales* (Flacso), na Argentina. Realizou estudos de pós-graduação na Flacso e na Universidade de Maguncia, na Alemanha. É investigador do *Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas* (Conicet) argentino e professor regular da *Universidad de Buenos Aires* (UBA), professor de pós-graduação na *Universidad de Rosario, Del Litoral e Católica de Córdoba*, entre outras. Nos últimos anos, suas pesquisas concentraram-se nos temas: impacto da globalização; reforma do Estado; modelo neoliberal e suas crises; e desenvolvimento e democracia.

João Carlos França de Luca

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Paraná (UFP), trabalhou na Petrobras de 1974 a 1997, onde foi superintendente na Bacia de Campos, de 1986 a 1989, e diretor de E&P, de 1990 a 1995. Foi membro do Conselho de Administração da Petrobras e

suas subsidiárias, e consultor (1995 a 1997) da vice-presidência executiva da Braspetro. Em 1998, ingressou na YPF para abrir a filial brasileira. Foi membro do Conselho de Diretores da YPF em 1998 e 1999. Neste ano, foi eleito presidente da Repsol YPF Brasil, cargo que ocupa até o momento. Também é presidente do Instituto Brasileiro do Petróleo (IBP) desde 2002; presidente do Comitê de Cooperação Empresarial da Fundação Getúlio Vargas (FGV), desde 2003; vice-presidente e coordenador do Comitê de Petróleo e Gás da ABIDIB, desde 1999. Tem forte participação no *World Petroleum Council* desde 1993, como secretário do *Brazilian National Committee*. Foi *chairman* do 17º Congresso Mundial de Petróleo, realizado no Rio de Janeiro em 2002, e membro do *Executive Board do World Petroleum Council*, de 1994 a 2005.

José Alexandre Altahyde Hage

Doutor em Ciência Política pela Unicamp, com o projeto “Bolívia, Brasil e a Guerra do Gás: As Implicações Políticas da Integração Energética na Estratégia e na Segurança Nacional Brasileira”, e mestre pela mesma Universidade. Atualmente é consultor do núcleo de negócios internacionais da Trevisan Consultoria, e professor do curso de Relações Internacionais na Trevisan Escola de Negócios, na Fundação Armando Álvares Penteado (FAAP) e Unibero (Centro Universitário Ibero-americano). É autor dos livros “As Relações Diplomáticas entre Argentina e Brasil no Mercosul” “Bolívia, Brasil e a Guerra do Gás”, e organizador do livro “OMC: Estudos Introdutórios”.

José Goldemberg

Graduado em Física, doutor em Ciências Físicas e Pós-doutor pela Universidade de São Paulo. É professor e orientador do Programa Interunidades de Pós-graduação em Energia da Uni-