



# 2º CONGRESSO BRASILEIRO DE P&D EM PETRÓLEO & GÁS

## ESTUDO COMPARATIVO DAS POSSIBILIDADES DE APROVEITAMENTO DE GÁS DE HIDRATOS NO BRASIL

Leonardo Carvalho de Montalvão<sup>1</sup>, Jaime Fernandes Eiras<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UFPA/Bolsista IBP, Rua Augusto Corrêa No. 1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém, PA,  
lmontalvao@hotmail.com

<sup>2</sup>UFPA/ANP, Rua Augusto Corrêa No.1, Guamá, CEP 66.075-910, Belém, PA,  
eiras@ufpa.br

**Resumo** – Hidratos de gás natural constituem uma fonte energética alternativa de grande projeção mundial, com reservas estimadas que praticamente duplicam as reservas convencionais atualmente conhecidas para os recursos energéticos fósseis. As zonas de hidratos chegam a armazenar nos espaços porosos até 164 m<sup>3</sup> de gás em apenas 1m<sup>3</sup> de hidrato. Aproximadamente 90% da área total das plataformas continentais do mundo inteiro possuem condições favoráveis de temperatura e pressão que permitem o desenvolvimento de zonas de hidratos de gás, em profundidades que, em geral, estão entre 100m e 650m dentro da coluna sedimentar. O reconhecimento de hidratos de gás natural na margem brasileira adquire uma particular relevância estratégica considerando as demandas atuais e futuras do consumo de gás natural para produção energética, já que os combustíveis fósseis de reservatórios convencionais encontram-se atualmente, em termos mundiais, no pico de produção, com tendências ao declínio. Este estudo visa analisar as novas tecnologias de exploração de gás natural a partir de hidratos, comparando as alternativas energéticas disponíveis atualmente. Este conhecimento será útil na exploração do grande potencial gaseífero dos hidratos, no seu aproveitamento e no estabelecimento de diretrizes para a regulação e proteção do meio ambiente.

Palavras-Chave: gases naturais; hidratos de gás; geoquímica; geofísica

**Abstract** – Natural gas hydrates constitute an energy source alternative of great potential, with reserves that practically double the conventional reserves known up to now for the fossil energy resources. Gas hydrates can store in porous spaces up to 30 m<sup>3</sup> to 36 m<sup>3</sup> of gas in just 1m<sup>3</sup> of sediment. Approximately 90% of the world's continental margins have favorable conditions of temperature and pressure to develop gas hydrates in depths ranging from 100m to 650m beneath the sea bottom. The detection of natural gas hydrates in the Brazilian margin has a strategic relevance considering the current and future demands on the consumption of natural gas for energy supply. The reason is that the fossil fuels of conventional reservoirs now meet a production peak, with tendencies to decline. This study seeks to analyze the new technologies to explore natural gas hydrates, comparing them with the present available energy alternatives. This knowledge will be useful in the exploration of major gas hydrate reservoirs. It will help to establish legal guidelines and protect the environment.

Keywords: natural gas, gas hydrates, geochemistry, geophysics

## 1. Introdução

Embora ainda existam muitas incertezas quantitativas sobre o aquecimento global causado pelo efeito estufa e de como as estratégias mitigadoras serão conduzidas pelos países, é inegável que os atuais padrões de produção e consumo de energia, baseados no uso intensivo de combustíveis fósseis são os principais responsáveis pelo aumento da concentração de gases causadores do efeito estufa na atmosfera, conforme destacou Silva (2002). Por este e outros motivos é que a mudança na matriz energética brasileira é fundamental, principalmente com o potencial gaseífero que nossas bacias apresentam. Estima-se que, no Brasil, o gás natural passará dos atuais 2% a 3% para cerca de 10% na composição da matriz energética em 2005, por conta principalmente do sistema de gasodutos Brasil-Bolívia (Gasbol). Grande parte do gás importado da Bolívia e do produzido nas bacias de Campos e Potiguar é consumida diretamente pela indústria do Sul-Sudeste e do Nordeste, mas a Petrobras, em parceria com outras empresas, tem mais de 20 projetos de construção de termelétricas a gás, muitas para serem construídas ao longo do gasoduto Brasil-Bolívia.

A utilização crescente do gás natural na matriz energética mundial tem sido favorecida pelas alternativas encontradas para o transporte e o consumo desse bem energético: aumento da rede de gasodutos, criogenia, tecnologia *gas to liquid* – GTL (transformação de parte do gás em líquido), novos projetos de termelétricas a gás, maior uso em calefação nos países do Hemisfério Norte, construção de plantas de amônia e uréia etc. Nos países do Hemisfério Norte, o aumento do consumo deve-se principalmente à crescente utilização do gás natural para geração de energia elétrica.

Uma das opções para atender a demanda mundial de gás a partir dos próximos 20 anos é a produção de gás de hidratos. Os hidratos de gás natural constituem uma forma pouco comum de ocorrência do gás metano, onde este aparece aprisionado em células de gelo conhecidas como clatratos, cujo aspecto lembra neve úmida.

De forma surpreendente, os hidratos de gás ocorrem em abundância nas regiões frias da Terra e nas águas profundas dos oceanos, onde constituem uma importante fonte potencial de energia limpa para o futuro.

## 2. Origem e Composição dos Hidratos de Gás

Hidratos de gás são geralmente encontrados em margens continentais com altas taxas de sedimentação, as quais asseguram rápido soterramento e preservação da matéria orgânica existente. De acordo com Kvenvolden e Bernard (1983), após a etapa de soterramento inicia-se um processo de metabolização da matéria orgânica, resultando no aparecimento de duas zonas bioquimicamente diversas na camada sedimentar: uma região onde predominam os processos aeróbicos, sobreposta a uma outra, na qual são dominantes as reações efetuadas sob regime anaeróbico. Nesta zona inferior alternam-se dois níveis. No nível de cima ocorrem processos de redução dos sulfatos, enquanto no nível de baixo dominam as reações que levam à redução dos carbonatos, as quais favorecem amplamente a formação de metano biogênico.

Segundo esses autores, a composição molecular e isotópica dos hidrocarbonetos gasosos, bem como a profundidade em que esses hidratos são encontrados, levam a crer que a maior parte do gás metano existente na forma de hidratos tem origem na alteração bacteriana da matéria orgânica.

### 2.1. Propriedades Químicas do Gás de Hidrato

Segundo Stoll et al (1971), “hidratos de gás natural são substâncias cristalinas, sob a forma de gelo, as quais pertencem a uma classe de compostos que ocorrem sob a forma de inclusões chamados clatratos. Nestes compostos químicos, um dos componentes preenche cavidades deixadas por outro, sem a necessidade de uma ligação química. No caso dos hidratos, a água forma anéis de cinco moléculas unidas por pontes de hidrogênio. Combinações de anéis de cinco moléculas em um arranjo espacial resultam no aparecimento de dodecaedros, os quais não conseguem formar ‘pacotes’ sem deixar alguns espaços vazios, sendo então estes poros preenchidos com moléculas de gás de tamanho apropriado, produzindo uma estrutura cristalina estável”.

### 2.2. Condições Físicas de Reservatórios de Hidratos de Gás

Fontana (1993) sugeriu que foram os russos, no final da década de 60, os pioneiros no estudo do método de avaliação e exploração de depósitos de hidratos de gás natural, bem como no desenvolvimento de uma teoria que explicasse sua formação. De acordo com alguns destes cientistas (Trofimuk, in Panayev, 1987, por exemplo), 90% da área total dos oceanos possuem as condições favoráveis de temperatura e pressão para o desenvolvimento de zonas de hidratos de gás em profundidades que, em geral, variam de 100m a 650m dentro da camada sedimentar. Nestes locais, a pressão de vapor dos gases pode cair abruptamente formando um depósito embrionário de hidratos de gás. Esta queda de pressão induz a que o restante do gás retido nos sedimentos e na própria água migre por difusão e filtragem, fazendo com que o depósito inicial cresça lateralmente e em profundidade, concentrando grandes quantidades de gás natural.

### 3. Evidências Geofísicas da Presença de Hidratos de Gás

Uma das evidências mais marcantes da presença de hidratos de gás nos sedimentos é o aumento da profundidade em que são encontrados, “simetricamente” com o aumento da lâmina d’água, em função das condições de temperatura e pressão necessárias para a sua ocorrência e estabilidade. Este fato ocasiona um paralelismo da base da camada de gás com o assoalho oceânico, assemelhando-se a uma reflexão múltipla, cortando por vezes a estratificação sedimentar normal. Uma segunda característica é dada pelas medidas de velocidade acima e abaixo do refletor que marca a base da camada de hidrato. Nos exemplos descritos na literatura existente sobre hidratos, dentro da camada que contém o gás congelado as velocidades são notavelmente maiores. A atenuação da velocidade logo abaixo da base do hidrato de gás se deve à presença, nesta região, de gás livre, instável e não mais de gás congelado.

A zona de hidratos é comumente denominada “Zona de Estabilidade dos Hidratos” (HSZ). A zona de gás livre, situada abaixo do limite inferior do hidrato, é denominada “Campo de Estabilidade do Hidrato de Metano”. O limite inferior do hidrato de gás, que separa este da zona de gás livre, é denominado “*Bottom Simulating Reflector*” (BSR). Estas zonas estão indicadas na seção sísmica mostrada na Figura 1, publicada por Kvenvolden, Barnard, 1982, onde pode ser observada uma grande acumulação de hidratos de gás na estrutura Blake Ridge, situada no extremo sudeste da margem continental dos Estados Unidos.

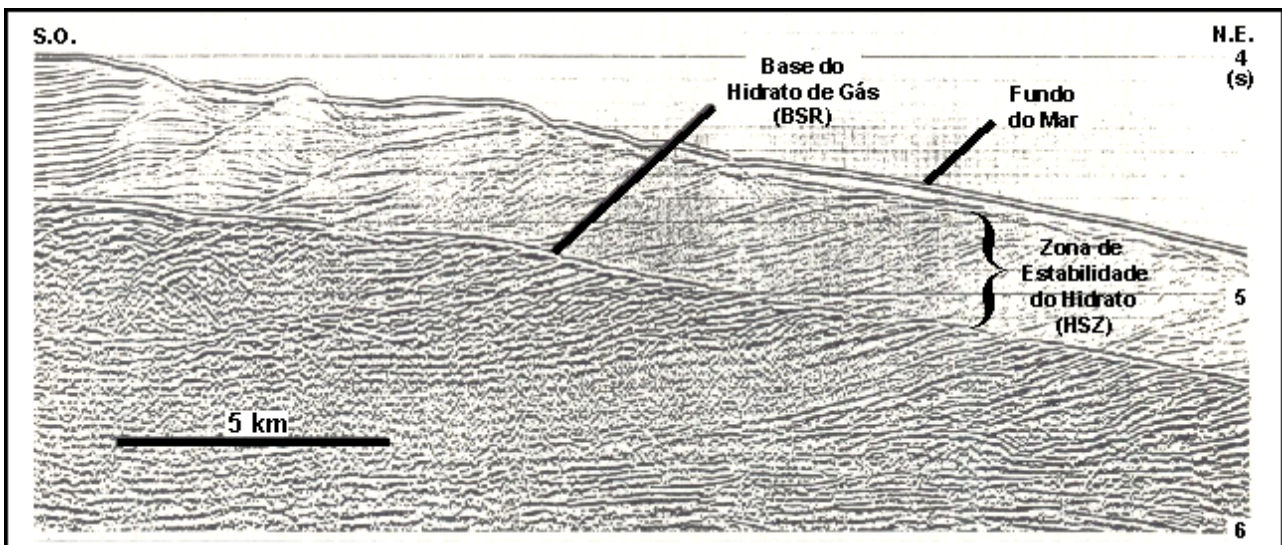


Figura 1. Acumulação de hidrato de gás da estrutura Blake Ridge vista em seção sísmica transversal à estrutura

Na Figura 2, adaptada do trabalho de Ecker et al. (1997), são apresentadas as respostas geofísicas nessas diferentes zonas de ocorrência de gás natural obtidas na acumulação de hidratos de Blake Ridge. A seção sísmica foi migrada pré-empilhamento, as velocidades foram obtidas da sísmica e as saturações foram calculadas com base nos valores de porosidade obtidos da sísmica e de perfis sônicos de poços perfurados na estrutura.

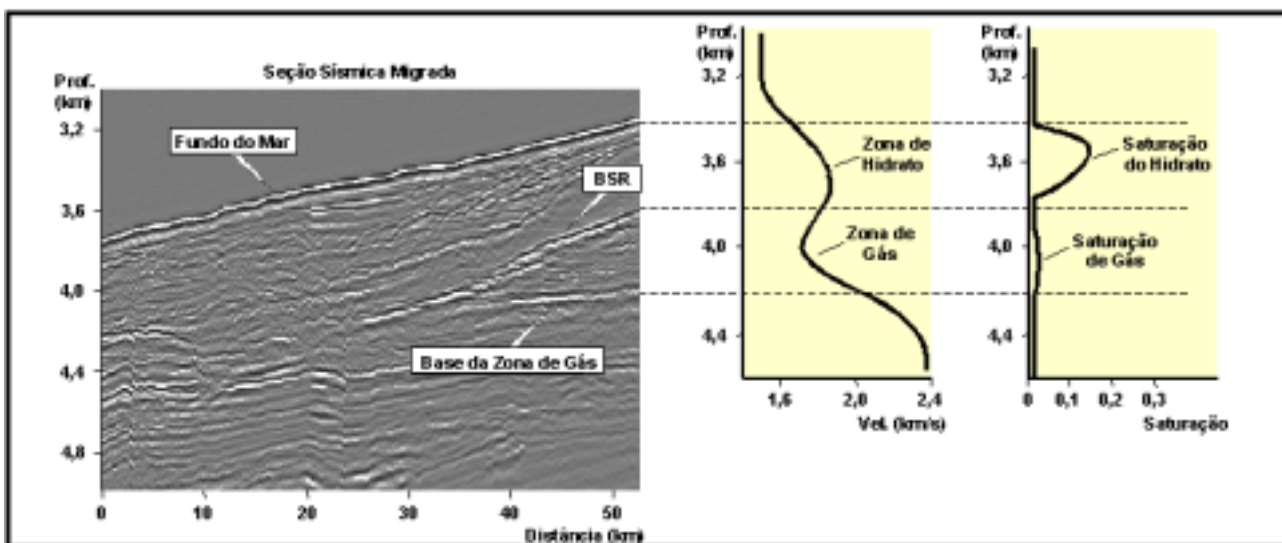


Figura 2. Dados sísmicos e de perfis de poços dos hidratos da acumulação de Blake Ridge

#### 4. Tendências na Transição Energética Mundial

A curva da Figura 3, gerada pelo geofísico alemão King Hubbert e atualizada por Kenneth (2001), caracteriza três etapas que conduzem ao esgotamento de um recurso finito, onde a produção naturalmente começa do zero, o fluxo de produção ascende até alcançar o ápice, ou seja, um máximo que já não pode ser ultrapassado, e, após este pico, o fluxo de produção declina até o esgotamento do recurso. Segundo esse autor, a nível mundial, o ápice da produção de óleo a partir de reservatórios convencionais será atingido entre 2003 e 2006. Isto significa que, dentro em breve, será necessário utilizar a “segunda metade” do estoque de petróleo das reservas provadas, mais as possíveis, das potências petrolíferas, que é o caso dos Estados Unidos, do Canadá, da Venezuela, da Rússia e da Noruega e Inglaterra (Mar do Norte).

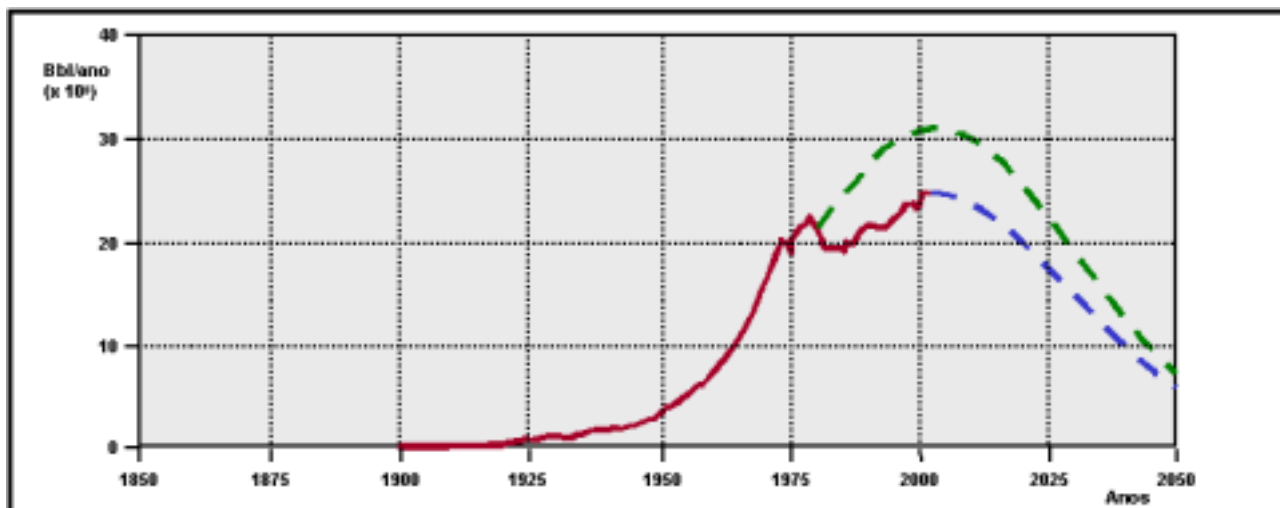


Figura 3. Curva de produção de Hubbert (“Pico de Hubbert”) modificada por Kenneth (2001). As curvas pontilhadas representam taxas previstas para recuperações finais de  $1,8 \times 10^{12}$  bbl (em azul) e  $2,1 \times 10^{12}$  bbl (em verde)

Contudo, este paradigma pode ser revertido com a mudança na matriz energética mundial a partir da utilização de recursos fósseis de reservatórios não-convencionais, como o gás natural a partir de hidratos, onde este apresenta uma capacidade volumétrica dobrada em relação aos reservatórios convencionais. A utilização crescente de gás natural também será uma tendência mundial em virtude das questões ambientais, que não podem ser esquecidas na atual situação climática global.

O alcance do pico de Hubbert para o gás natural está estimado para 2030. Isto indica que, com o início do declínio eminente da produção mundial de óleo, o gás natural suprirá a demanda estimada nesse intervalo, que estará em torno de 90 milhões de barris de óleo equivalente por dia (BOEPD) em meados de 2020, conforme pode ser observado na Figura 04, à esquerda. Por essas previsões, a partir de 2004 o gás natural será o segundo combustível mais consumido no mundo, à frente do carvão mineral, só sendo superado pelo óleo, conforme pode ser deduzido da Figura 4, à direita.

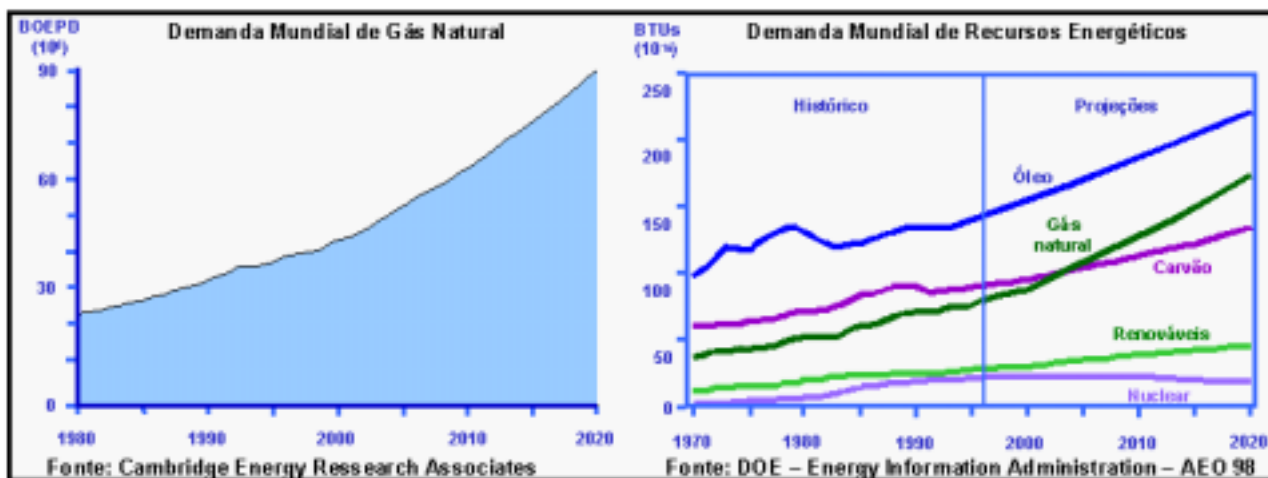


Figura 4. Demanda mundial de gás natural ( $\text{BOEPD} \times 10^6$ ) e comparação entre as demandas mundiais de recursos energéticos ( $\text{Btus} \times 10^{15}$ )

Para o Brasil, considerando-se a importância que o gás natural vem tendo no início deste século, há uma convergência em torno de uma legislação específica e de uma política de longo prazo para o setor, que procure definir a relação oferta versus demanda no país.

## 5. Ocorrências de Hidratos de Gás no Brasil

Ocorrências de hidratos de gás marinhos têm sido identificadas desde 1970, tanto em margens continentais ativas como em passivas, relacionadas a áreas com elevadas taxas de sedimentação e rápido soterramento.

No Brasil, evidências de hidratos de gás ocorrem em regiões *offshore* das Bacias de Pelotas (RS) e Foz do Amazonas (AP), sendo que a maioria dos trabalhos desenvolvidos sobre os hidratos brasileiros foi realizada pela Petrobras. As evidências sísmicas da existência de hidratos de gás na Bacia de Pelotas são mostradas na Figura 5, publicada por Sad et al. (1997).

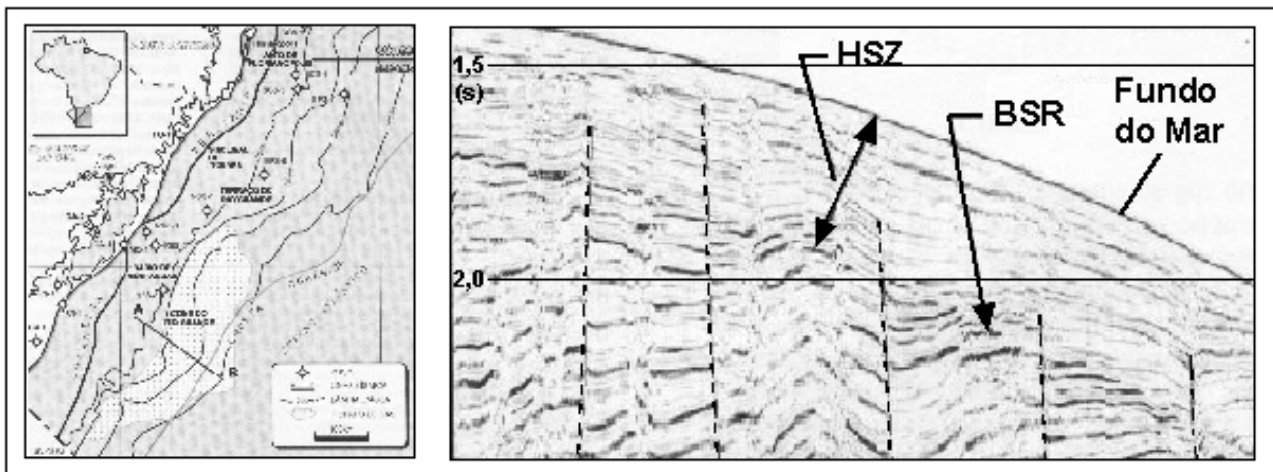


Figura 5. Trecho de uma seção sísmica representada no mapa da esquerda, onde foi identificada a acumulação de hidrato de gás do Cone do Rio Grande, Bacia de Pelotas.

Segundo dados obtidos junto ao Laboratório de Geologia Marinha da UFF, a ocorrência de hidratos da Bacia da Foz do Amazonas tem volume estimado em 450 trilhões de pés cúbicos (TCF), equivalente a 13 trilhões de  $m^3$  de gás em superfície. A espessura estimada de 450 m para essa camada de hidrato deve ser vista com cautela, mas os valores calculados são compatíveis com as outras ocorrências mundiais.

Para os hidratos de gás do Cone do Rio Grande da Bacia de Pelotas, Sad et al. (1997) estimaram uma área média de 45.000  $km^2$ , uma espessura de 200m e uma concentração de 1,5%. Com base nesses dados, o volume calculado é de 135 bilhões de  $m^3$  de gás *in place*, ou 22 trilhões de  $m^3$  em superfície, considerando-se um fator volume de formação (Bg) de 0,006 para o gás de hidrato. Estes valores se assemelham aos dos maiores depósitos de hidratos do mundo.

Essas duas acumulações, juntas, podem conter cerca de 215 bilhões de  $m^3$  de gás *in place*, o que corresponde a 46% das reservas brasileiras de gás, estimadas em 468,4 bilhões de  $m^3$ , no ano de 1999, segundo dados constantes na página eletrônica da Agência Nacional de Petróleo (ANP).

## 6. A Demanda de Gás Natural no Brasil (2010 - 2020)

A demanda de gás natural no Brasil, prevista para o período 2010 – 2020, está fundamentalmente baseada na dinâmica do crescimento econômico nacional avaliado pelas participações dos PIBs estaduais no PIB nacional entre 1985 e 1996. O acelerado crescimento da demanda de 35 milhões de  $m^3/d$  (mimcd), em 2000, para 128 mimcd, em 2010 (11,4 % a.a.), está associado à acentuada elevação do consumo de gás natural na termelétricidade (UTE). A ANEEL revelou que já existem dezenas de projetos de UTEs em estudos envolvendo um potencial de 1.300 mW, com demanda de 52 mimcd, conforme reportagem publicada na revista Brasil Energia 215, março/99, p. 76, citada por Bahia (1999). A demanda prevista de 128 mimcd, em 2010, está subestimada considerando que a Argentina, com um terço do PIB brasileiro, consome atualmente cerca de 100 mimcd. A ANP divulgou, em matéria publicada nessa mesma reportagem, registros de pedidos de importação de gás natural totalizando um volume de 56,8 mimcd. A demanda até 2020 crescerá desaceleradamente (4% a.a.) para 190 mimcd, após a implantação, até 2010, dos projetos das termelétricas.

## 7. Conclusões

Com as previsões feitas por Hubbert, onde há uma tendência eminente do esgotamento de recursos de reservatórios convencionais, pressupõem-se que a alternativa para que não haja um caos energético seja a utilização de recursos de reservatórios não-convencionais, dos quais a utilização de gás natural a partir de hidratos é a alternativa mais promissora.

Os hidratos de gás são vistos como fontes potenciais não-convencionais de gases naturais devido à grande capacidade de armazenamento de gás nas cavidades das estruturas cristalinas e às grandes espessuras deles. Além disso, podem ocorrer gases livres abaixo da zona de hidrato.

O estudo dos hidratos de gás é necessário porque eles são importantes não só como fonte alternativa de energia, mas também como fator responsável por mudanças climáticas e riscos ambientais. Como fonte energética alternativa, os hidratos adquirem grande importância no Brasil, pois as duas acumulações evidenciadas até o momento, podem conter quase a metade das reservas nacionais de gás natural.

As vantagens da utilização do gás natural a partir de hidratos para geração de energia elétrica são muitas. Dentre elas, podem ser citadas: as termelétricas a gás podem complementar a energia gerada pelas hidrelétricas durante os períodos de grande estiagem; as termelétricas a gás podem ser construídas próximas aos centros consumidores, diminuindo os custos com instalação de linhas e os riscos e as perdas com transmissão a longa distância.

Porém, atualmente o maior interesse comercial reside nas acumulações de gás livre existentes em reservatórios sob a camada relativamente impermeável de hidratos de gás, e principalmente na possibilidade da existência de gás e óleo termogênicos aprisionados pelo excelente selo que é esta camada de gás congelado, cuja existência nas margens continentais do mundo inteiro é cada vez mais relevante. Contudo, é de grande importância o aperfeiçoamento de tecnologias apropriadas para a produção de gás providas diretamente dos hidratos, pois tais ocorrências apresentam concentrações anômalas de metano. Uma das possíveis estratégias para tal produção seria a injeção de vapores quentes que ocasionarão o descongelamento dos hidratos e a liberação do gás.

## 8. Referências

- BAHIA, R. R. P. & PRATES, J.-P. As expectativas de mercados para as reservas de gás natural das bacias sedimentares do Solimões e Amazonas: 2010 – 2020. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Manaus, 1999, SBG/NO, 1999.
- CAPUTO, M. V. 1999. Exploração de gás natural na Amazônia, reservas e abastecimento brasileiro. In: Simpósio de Geologia da Amazônia, 6, Manaus, 1999, SBG/NO, 1999.
- CLARK, R. H. 2001/2100. Population and energy. Adapted from presentation at AAPG Mid Continent Section Meeting, Amarillo, Texas, October 2, 2001.
- ECKER, C., DVORKIN, J., NUR, A. Estimating the amount of hydrate and free gas from surface seismic. SEP-95, p. 173-194, 1997.
- EIRAS, J. F. Tendências tecnológicas do setor de petróleo e gás. Programa de Recursos Humanos da ANP para o Setor de Petróleo e Gás – PRH-ANP/MCT/UFPA 06. Relatório Semestral Mar-Set 2002.
- GRUNVALD, V. Considerações sobre o gás natural e sua inserção no Estado do Para. (Relatório da Secretaria Executiva de Indústria Comércio e Mineração), 1999.
- KENNETH S. D. Hubbert's Peak: The Impending World Oil Shortage, Princeton University Press, 208 p., 2001.
- KVENVOLDEN, K., BARNARD, L. A. Hydrates of natural gas in continental margins. In: WATKINS, J. S., DRAKE, C. L. (ed.). Studies in continental margin geology. Am. Assoc. Petr. Geol. Memoir 34, p. 631-640, 1982.
- MONTALVÃO, L. C. Inserção de gás natural na Amazônia brasileira: vantagens e benefícios. Monografia vencedora do concurso de monografia do 17º World Petroleum Congress, Rio de Janeiro, set 2002.
- PETROLEUM ECONOMIST. Gás in Latin América and the Caribbean – Its Potential. Editado por Petroleum Economist, PO Box 105, Blair House, 15/17 St Cross Street, London, EC1N 8UN, 1997..
- SAD, A. R. E., SILVEIRA, D. P., MACHADO, M. A. P. Hidratos de gás marinhos: a mega ocorrência da Bacia de Pelotas/Brasil. In: Congresso Internacional da Sociedade Brasileira de Geofísica, 5, São Paulo: SBGF, Resumos Expandidos, v.1, p.71-74, 1997.
- SILVA, M. V. M. A tecnologia G-T-L: uma opção para o aproveitamento das reservas de gás natural da Amazônia. Contribuição à Geologia da Amazônia, v. 3, p. 47-52, 2002.