



**GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA E DIVERSIFICAÇÃO DA MATRIZ
ENERGÉTICA: A VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DE GÁS NATURAL A PARTIR
DO ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO₂ NA JAZIDA DE CARVÃO DE
CHARQUEADAS**

Letícia Hoppe - letícia.hoppe@terra.com.br

Resumo

Inserido na problemática do meio ambiente que reúne diversos segmentos da sociedade, existe a preocupação mundial com a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE). Estes são considerados os principais causadores do aquecimento global e, portanto, de gerarem externalidades negativas que podem comprometer o processo de desenvolvimento sustentável. A exemplo disto existe uma série de estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, demonstram a importância de buscar novas tecnologias que mitiguem as emissões de GEE, entre eles o CO₂, considerado um dos principais causadores do efeito estufa. Para tanto, estudos realizados pelo IPCC (2005) indicam que o armazenamento geológico de CO₂ é uma das promissoras alternativas com o intuito de reduzir o processo de aquecimento global. Contudo, para avaliar a implementação de novos processos produtivos ou a remodelagem de processos já existentes torna-se necessário a avaliação econômica e financeira desta nova tecnologia. Para tanto, se propõe a análise custo-benefício do processo, concomitante a uma avaliação dos impactos ambientais. O estudo de viabilidade econômica permite identificar os custos e benefícios desta nova tecnologia capaz de propiciar uma redução ou compensação nas emissões de gases. Um bom exemplo é o processo de sequestro geológico de CO₂ em camadas de carvão, conhecido como ECBM – CO₂ (Enhanced Coal Bed Methane with CO₂). A realização deste estudo pode ser justificada pela importância da diversificação da matriz energética do Pólo Petroquímico de Triunfo, o qual pode reduzir sua dependência do Gás natural importado da Bolívia. através do ECBM-CO₂ que consiste na neutralização das emissões de CO₂ para a atmosfera através de sua injeção em camadas de carvão, e consequentemente na produção de gás natural contido na mesma. A partir deste cenário, surge a seguinte questão: Qual a viabilidade econômica da realização do ECBM – CO₂ - com e sem a utilização dos créditos de carbono ?

Palavras-chave: Geração de energia Limpa. Sequestro geológico de CO₂.

Área Temática: Tema 10: Energia

1 Introdução

O tema meio ambiente vem tornando-se pauta de discussões em diversas áreas do conhecimento, deixando de ser assunto “de ecologistas” e passando a ser incorporado no processo produtivo por empresários e formadores de políticas públicas. Neste cenário, o conceito de Desenvolvimento Sustentável fortalece o processo de mudança no uso dos recursos naturais, na orientação dos investimentos, nas decisões de ordem política e na reformulação das instituições públicas.



Inserido nesta problemática, que reúne diversos segmentos da sociedade, existe a preocupação mundial com a redução dos Gases de Efeito Estufa (GEE)¹. Estes são considerados os principais causadores do aquecimento global e, portanto, de gerarem externalidades negativas que podem comprometer o processo de desenvolvimento sustentável. A exemplo disto existe uma série de estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas – IPCC, demonstram a importância de buscar novas tecnologias que mitiguem as emissões de GEE, entre eles o CO₂², considerado um dos principais causadores do efeito estufa. Para tanto, estudos realizados pelo IPCC (2005) que emitiu relatório sobre Dióxido de Carbono – Captura e Armazenamento indicando que o armazenamento geológico de CO₂ é uma das promissoras alternativas com o intuito de reduzir o processo de aquecimento global.

Contudo, para avaliar a implementação de novos processos produtivos ou a remodelagem de processos já existentes torna-se necessário a avaliação econômica e financeira desta nova tecnologia. Para tanto, se propõe a análise custo-benefício do processo, concomitante a uma avaliação dos impactos ambientais. O estudo de viabilidade econômica permite identificar os custos e benefícios desta nova tecnologia capaz de propiciar uma redução ou compensação nas emissões de gases. Um bom exemplo é o processo de seqüestro geológico de CO₂ em camadas de carvão, conhecido como ECBM – CO₂ (Enhanced Coal Bed Methane with CO₂).

2. Objetivos

Objetivo Geral:

Avaliar a viabilidade econômica da captura e armazenamento geológico de CO₂ na jazida de carvão mineral de Charqueadas e da extração de Gás Natural para abastecimento do Pólo Petroquímico.

3. Problema de pesquisa e justificativa

A execução deste processo visa utilizar o gás natural extraído da camada de carvão, através do processo de ECBM-CO₂, como fonte de energia para o Pólo de Triunfo, reduzindo assim a dependência energética do gás importado da Bolívia, além de implementar um processo de geração de energia limpa. Verificar-se-á posteriormente a potencialidade de obter-se uma receita adicional a partir do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), qualificado para a obtenção de Certificado de Reduções de Emissões ou, mais comumente conhecido, Crédito de Carbono.

Logo, a realização deste estudo pode ser justificada pela importância da diversificação da matriz energética do Pólo Petroquímico de Triunfo, o qual pode reduzir sua dependência do Gás natural importado da Bolívia.

Diante disto, a necessidade de segurança no suprimento de energia no setor produtivo tem estimulado a procura por fontes domésticas como o gás natural, pois, além da vantagem econômica associada, tem-se também a redução da emissão de GEE causada no exercício de suas atividades fins, ocasionada pela modernização do seu processo produtivo através da

¹ GEE: eles são compostos por dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), óxido nitroso (N₂O), os halo carbonos – bromo, cloro, flúor e iodo, o hexafluoreto de enxofre (SF₆) e o ozônio (O₃).

² CO₂ : um dos gases de efeito estufa.



implementação de processos com tecnologia mais eficientes, capazes de garantir a sustentabilidade ambiental.

A partir deste cenário, surge a seguinte questão: Qual a viabilidade econômica da realização do ECBM – CO₂ - com e sem a utilização dos créditos de carbono como alternativa de geração de energia limpa?

4. Revisão Bibliográfica

Estudos econômicos estão cada vez mais voltados para o meio ambiente, no que tange a sustentabilidade e a gestão dos recursos naturais, bem como a busca por alternativas que utilizem estes recursos de modo cada vez mais eficiente. Tais preocupações são notadas nas mais diversas bibliografias que tratam de Economia ambiental, como em May, Lustosa e Vinha (2003), que realizam não somente uma análise em perspectiva histórica do tema, mas também aborda a questão do consumo de energia como uma preocupação latente da matriz produtiva mundial para um futuro bem próximo. Os autores tratam do aquecimento global sob o enfoque econômico, o qual vem trazendo incertezas quanto a velocidade futura do crescimento das economias, pois a intervenção humana no meio ambiente vem causando danos irreversíveis, danos estes se não forem minimizados através da gestão sustentável ou da implementação de novas tecnologias menos geradoras dos GEE ou ainda através de inovações que sejam capazes de transformar emissão de GEE em energia – poderemos ter a economia mundial afetada de forma negativa, comprometendo inclusive as gerações futuras.

Como um dos mecanismos incentivadores para a adoção de tecnologias que reduzam a emissão dos GEE tem-se o Protocolo de Quioto, que através da implementação dos chamados Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL) permitem, após a sua aprovação, a emissão de Créditos de Carbono ou Certificados de Redução de Emissões, os quais podem ser comercializados a fim de viabilizarem economicamente a implementação destas.

A mesma preocupação se torna evidente em Almeida, Mello e Cavalcanti (2000), que abordam esta questão de forma ainda mais incisiva no que tange a criação de novas tecnologias para a mitigação dos impactos negativos da ação do homem no meio ambiente e a importância das políticas ambientais como mediador desta implementação. Em Almeida (1998) e Nascimento, Lemos e Mello (2008) reforça-se a necessidade da gerência dos recursos naturais de forma sustentável, dado o histórico da evolução econômica e do uso de maneira inconsciente dos recursos naturais, as nações devem a partir de “HOJE” realizar uma reordenação técnica visando o desenvolvimento sustentável.

Um dos setores estudados como potenciais para a redução de poluição é o Setor energético, que possui diversas alternativas que tornem o processo de sua geração e abastecimento mais limpo.

Tem-se como acervo teórico no que diz respeito ao segmento energético como um dos setores mais promissores para a implementação de MDL o trabalho de Santin (2007), que sinaliza o mercado Brasileiro com um enorme potencial para a implementação dos projetos de MDL e a obtenção de Créditos de Carbono.

Vislumbrando a necessidade da diversificação energética, pesquisou-se sobre as principais fontes geradoras de energia elétrica a nível mundial. Encontrou-se, dentre inúmeras fontes, dados de que o carvão mineral é uma fonte nobre, barata, e usual de geração de energia elétrica, sendo utilizado em larga escala em usinas termelétricas – processo historicamente muito emissor e que vem sendo aperfeiçoado, e também como matéria prima para produzir coque, utilizado na produção de aço em siderúrgicas.

Porém, as camadas de carvão mineral também podem ser utilizadas como reservatórios para o armazenamento geológico de CO₂. Sabe-se que o processo de injeção de CO₂ em camadas de carvão pode aumentar a produção de gás natural em poços de CBM (do inglês Coalbed



Methane), indústria altamente difundida nos Estados Unidos. Diversos autores como Gale & Freund, Krooss, afirmam que o CO₂, uma vez em contato com a matriz do carvão, estimula a liberação do metano (i.e. gás natural), que se encontra naturalmente preso à sua estrutura através de forças físico-químicas. Como resultado, tem-se a substituição do metano pelo CO₂ dentro da estrutura porosa do carvão, ficando este último estável dentro da camada, enquanto que o metano original passa a fluir livremente pelo sistema de fraturas e falhas inatas à camada, podendo ser extraído através de poços produtores perfurados a partir da superfície. Este processo é conhecido como ECBM.

O referencial teórico associado a esse estudo está embasado nos fundamentos microeconômicos da teoria do bem estar, no que trata das externalidades positivas e negativas, indicando à sociedade em quanto os benefícios excedem os custos nas varias alternativas de projetos, utilizar-se-á este referencial, pois o uso dos recursos ambientais assemelha-se muito ao uso dos bens públicos.

Segundo Rocha (2003) uma das alternativas para a verificação da viabilidade econômica no âmbito do Comércio Internacional de Certificados de Emissões da implementação de projetos de MDL é a avaliação através do equilíbrio a ser encontrado de acordo com o cenário escolhido através do modelo CERT que identifica no âmbito macroeconômico a viabilidade ou não do mesmo, pois realiza a estimação do preço do Certificado a nível mundial, permitindo a criação de cenários nas quais diversas opções podem figurar no contexto, como por exemplo, os custos de transação, taxas de implementação de projetos de MDL, percentual do projeto que será repassado para o Fundo de Adaptação e demais custos operacionais.

Como referencial teórico na valoração econômica do projeto específico, têm-se a Análise Custo Benefício (ACB) que tem por finalidade o calculo de verificação da diferença entre ganhos e perdas resultantes de determinado investimento, ou seja, avaliar o custo de oportunidade da realização deste investimento. Esta verificação dar-se-á sob a ótica econômica e financeira, onde os custos de investimento serão classificados em fixo (representando os equipamentos, instalações, rede de energia, dutos para captura e armazenamento de CO₂, etc) e de giro (adicional necessário para a operacionalização do processo), as despesas em variáveis e fixas e as receitas advindas da realização do projeto. Os indicadores de viabilidade a serem utilizados serão o Valor Presente Líquido (VPL), a Relação Custo Benefício, Taxa Interna de Retorno (TIR) e o cálculo da Taxa de Desconto, que concerne em transformar, usando uma taxa de desconto, todos os custos e benefícios ocorridos em cada período nos seus valores atuais de hoje e calcular a diferença entre eles. Estes métodos de análise foram utilizados por Dubeaux (1998) para o calculo da viabilidade econômico-financeira do Projeto de Despoluição da Baía do Guanabara

5. Metodologia

A classificação da pesquisa a ser realizada se enquadra na **Pesquisa Aplicada**: aplicação prática da implementação do processo de captura, armazenamento geológico de CO₂ e retirada de gás natural, onde a fonte emissora serão as empresas que compõem o **local delimitado para estudo**, Pólo Petroquímico e a jazida de carvão a ser injetado o CO₂ capturado é a jazida de Charqueadas.

Revisão bibliográfica do tema meio ambiente em um contexto mundial até a efetiva implementação do Protocolo de Quioto, pesquisa bibliográfica elaborada a partir de material já publicado, constituído principalmente de livros, artigos de periódicos e atualmente com material disponibilizado na Internet.

Posteriormente **pesquisa e coleta de dados** para uma análise quantitativa para a realização do estudo de viabilidade econômico-financeira da execução da atividade proposta.



Será realizada pesquisa experimental, pois determinado o objeto de estudo, que é o ECBM-CO₂ serão selecionadas as variáveis que serão capazes de influenciá-lo, e analisar-se-á os efeitos que as variáveis irão produzir no objeto.

Para fins de cálculo de viabilidade econômico-financeira será necessária à quantificação razão de CO₂ injetado e metano produzido na jazida de Charqueadas, expressas em termos de massa (i.e. toneladas) ou volume (metros cúbicos); obtendo assim o volume de gás natural possível de ser extraído por tonelada de carvão da jazida; Desta forma, poder-se-á estimar os custos de produção do Gás Natural deste projeto.

Resultados esperados: Viabilidade Técnica, Econômica e Ambiental da Produção de Metano através da Injeção de CO₂ em camadas de carvão.

5.1 Identificação das variáveis do Estudo

Diante da crescente demanda mundial por energia, sendo que o abastecimento desta advém principalmente de combustíveis fósseis, que emitem na sua combustão uma enorme quantidade de CO₂, leva aos estudiosos a realizarem pesquisas que permitam uma melhor utilização dos insumos necessários para a sua geração.

Sendo assim, existe a necessidade de estudar maneiras alternativas de evitar que todos estes gases permaneçam na atmosfera terrestre, pois principalmente o CO₂ causa um maior aquecimento do clima terrestre, sendo um dos principais causadores do efeito estufa. Para tanto, estudos realizados indicam que o armazenamento geológico de CO₂ é uma das promissoras alternativas com esse intuito.

O Seqüestro Geológico de CO₂, que consiste na captura e armazenamento do dióxido de carbono – CO₂ pode ser feito em Aquíferos salinos profundos, Reservatórios depletados de Óleo e Gás e em Camadas de Carvão.

Dentre as alternativas apresentadas, será realizado estudo no que trata do armazenamento em Camadas de carvão, a qual permite ao longo do processo, a extração de Gás Natural.

Por apresentar esta característica, de geração de energia limpa, será realizado o Estudo de Viabilidade Econômico-financeira desta, que é denominada de ECBM-CO₂. (Enhanced Coal Bed Methane with CO₂).

O ECBM-CO₂, para a sua realização, obedece ao seguinte fluxograma, onde cada um destes itens será contemplado nas premissas para cálculos econômico-financeiros, por apresentares custos de execução.

O diagrama da atividade de CCS é constituído por três etapas principais:

- a) captura,
- b) transporte e
- c) armazenamento do CO₂, que pode ser obtido de fontes emissoras estacionárias.
- d) Produção de gás natural - alternativo

A fim de oferecer um panorama geral dos custos médios para a realização do ECBM-CO₂, o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas- IPCC remitiu um relatório em 2005 sobre Dióxido de Carbono – Captura e Armazenamento, onde estimou valores. No que trata da Captura de CO₂, os custos apresentam uma variação entre 25 – 100 US\$/tCO₂. Já para o transporte de CO₂ os custos variam de 1-8 US\$/t CO₂. Os custos para o armazenamento em camadas de carvão girando entre 10-16 US\$/t CO₂. Enfatiza-se que estes custos como mencionados anteriormente foram extraídos de um cálculo geral e abrangente, mas ao ser realizada a elaboração do Estudo de Viabilidade econômico-financeira os itens que compõem cada uma das premissas deverá ser minuciosamente decomposta no intuito de permitir um relatório com dados confiáveis e que expressem a realidade do mercado.



A receita a ser auferida da atividade, será da extração de gás natural, que vem a abastecer a fonte emissora de CO₂, e ainda para fins de análise, serão criados cenários com e sem a obtenção dos créditos de carbono. Os Créditos de carbono são resultados da implementação do Mecanismo de Flexibilização, que tem por objetivo viabilizar, na maioria dos casos, a realização de processos que realizem a redução dos gases causadores do Efeito Estufa, mais comumente tratado como aquecimento Global. Serão criados estes dois cenários, pois este processo de armazenamento geológico de CO₂ ainda não está contemplado no protocolo de Quito.

Tendo, portanto conhecimento do capital inicial necessário para a inicialização do processo e conhecimento de todas as premissas para a sua operacionalização e a origem de suas receitas, é possível elaborar o modelo financeiro que norteará a atividade ao longo do tempo, bem como indicará a viabilidade financeira de sua execução.

6. Referências Bibliográficas

ALIER, Joan Martinez. **Da economia ecológica ao ecologismo popular**. Blumenau, FURB, 1998.

AYERS, W.B., Jr., KAISER, W.R., and LEVINE, J.R. **Coal as source rock and gas reservoir**: Birmingham, Alabama, 1993 Coalbed Methane Symposium, Short Course 1, 257 p., 1993.

BELLEN, Hans. **Indicadores de Sustentabilidade: Uma análise comparativa**. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2007.

BENSON, Sally, COOK, Peter. **Underground geological storage**. IPCC Special Report on Carbon dioxide Capture and Storage. Acesso em março de 2008.

BRAGA, Célia. **Contabilidade Ambiental: Ferramenta para a gestão da Sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2007.

CEPA. Carvão Mineral. Disponível em <http://www.cepa.if.usp.br/energia/energia1999/Grupo1A/carvao.html>. Acesso em 30/03/2008.

CLEMENTE, Armando **Planejamento do Negócio** Coppe/UFRJ - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Rio de Janeiro, 2002.

COSTA, C.J. **Mecanismo de Desenvolvimento Limpo: instrumento indutor do desenvolvimento sustentável e da adoção de energias renováveis nos países em desenvolvimento?**. 2007. Artigo em Hypertexto. Disponível em: <http://www.infobibos.com/Artigos/2007_4/sustentabilidade/index.htm>. Acesso em: 6/8/2008

DALY, H.E. Allocation, distribution, and scale: towards an economics that is efficient, just and sustainable. **Ecological Economics**, n.6, 1992.

DUBEUX, Carolina Burle Schmidt. **A valoração econômica como instrumento de gestão ambiental – O caso da despoluição da Baía do Guanabara**. UFRJ. Rio de Janeiro, 1998.

FERREIRA, L.C. **A Questão Ambiental: Sustentabilidade e Políticas Públicas no Brasil**. São Paulo: Ed. Bomtempo, 1998.

FOLADORI, Guilherme. **Limites do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Unicamp, 2001.

GASIFICATION Technologies. Disponível em: http://www.fe.doe.gov/coal_power/gasification/index.shtml. Acesso em 31/03/2008



- GASIFICATION Technologies. Disponível em: http://www.fe.doe.gov/coal_power/gasification/index.shtml. Acesso em 31/08/2008
- GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira.**, São Paulo: 7 ed. Harbra, 1997.
- HARTE, M.J. Ecology, **Sustainability and environment as capital**. Ecological Economics, n. 15, 1995, p. 157-164
- IEAv - Instituto de estudos Avançados. **Carvão, Gaseificação, IGCC**. Disponível em: <http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/carvao.php>. Acesso em 31/03/2008
- KETZER, João M. CARBMAP - Mapa Brasileiro de Seqüestro de Carbono, 2007.
- MAY, Peter H., LUSTOSA, Maria C., VINHA, Valéria da. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.
- MEADOWS, D. et al. **The limits to growth**. A report for the Club of Roma's project on the predicament of Mankind. Londres: Potomac, 1972.
- MENDES, Francisco E. MOTTA, Ronaldo Seroa da. Texto para discussão nº 479 **Instrumentos econômicos para o controle ambiental do ar e da água: uma resenha da experiência internacional**. IPEA, Rio de Janeiro, 1997.
- MIKHAILOVA, Irina. **Sustentabilidade: Evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática**. Revista Economia e Desenvolvimento, n. 16, 2004.
- Ministério de Ciência e Tecnologia. Disponível em, : http://www.mct.gov.br/upd_blob/0025/25139.pdf. Acesso em agosto de 2008.
- MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Economia Ambiental**. Rio de Janeiro: Editora FGV, 2006.
- NASCIMENTO, L.F, LEMOS, A.C, MELLO, M.A. **Gestão Sócio Ambiental Estratégica**. Porto Alegre: Bookman, 2008.
- NOBRE, Marcos. AMAZONAS, Mauricio de C. **Desenvolvimento Sustentável: a institucionalização de um conceito**. Brasília: Ed. IBAMA, 2002.
- PEARCE, D.W. e ATKINSON, G.D. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of weak sustainability. **Ecological Economics**, v.8, p.106, 1993.
- PINHEIRO, Flavio Cotrim. **Mudança Global do Clima: ciência e políticas públicas**. Revista Ciências Moleculares, n 2. Dezembro de 2005.
- PROTOCOLO DE QUIOTO. Disponível em <http://www.onu-brasil.org.br> Acesso em 02/04/2008.
- ROCHA, M.T. **Aquecimento Global e o Mercado de Carbono: uma aplicação do Modelo CERT**. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2003. Disponível em <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-13052003-163913>. Acesso em abril de 2008.
- ROMEIRO, Ademar. **"Indicadores de Sustentabilidade: aspectos Socioeconômicos"**, in DIALOGO XLII - Recursos Naturales y Sostenibilidad Agrícola, IICA, Montevideo, 1994.
- SACHS, I. Eco desenvolvimento: crescer sem destruir. São Paulo: Vértice, 1986.
- SALIM, C.S. Construindo Planos de Negócios. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.



SANTIN, Maria Fernanda. **Os impactos da demanda por créditos de carbono sobre o mercado de certificações de reduções de emissões no Brasil, no âmbito do protocolo de quioto.** Porto Alegre. Pontifícia Católica do Rio Grande do Sul, 2007.

SILVA, Z.R. **Anais do xxxiii Congresso Brasileiro de Geologia-caracterização petrológica e tecnológica das camadas de carvão da jazida de Charqueadas do Rio Grande do Sul.** Rio de Janeiro, 1984.

SOUSA, Ana Almeida de. **A Evolução da Política Ambiental no Brasil do Século XX.** Disponível em http://www.achegas.net/numero/vinteeseis?ana_sousa_26.htm Acesso em 13/03/2008.

TURNER et al. **Environmental economics: an elementary introduction.** New York: Harvester Wheatsheaf, 1994, 328p.

UNITED NATIONS. **Framework Convention on Climate Change.** New York, 1992 (a): United Nations. Disponível em http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php Acesso em 20 de agosto de 2008