

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL  
FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECONOMIA  
MESTRADO EM ECONOMIA DO DESENVOLVIMENTO

LETÍCIA HOPPE

**GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA E DIVERSIFICAÇÃO DA  
MATRIZ ENERGÉTICA: A VIABILIDADE DA PRODUÇÃO  
DE GÁS NATURAL A PARTIR DO ARMAZENAMENTO  
GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> NA JAZIDA DE CHARQUEADAS**

Porto Alegre

2009

LETÍCIA HOPPE

**GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA E DIVERSIFICAÇÃO DA  
MATRIZ ENERGÉTICA: A VIABILIDADE DA PRODUÇÃO  
DE GÁS NATURAL A PARTIR DO ARMAZENAMENTO  
GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> NA JAZIDA DE CHARQUEADAS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Economia da Faculdade de Administração, Contabilidade e Economia como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Economia do Desenvolvimento na Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

Orientador: Augusto Mussi Alvim  
Co-Orientador: João Marcelo Medina Ketzer

Porto Alegre

2009

Dedico este trabalho à minha filha Anna Laura e aos meus sobrinhos Ighor e Henrique que tem uma longa caminhada estudantil pela frente. Sendo esta dedicação uma forma de incentivar na construção de suas vidas acadêmicas, que no caso do Ighor se iniciou no ano de 2005, em sua alfabetização, e no caso da Anna Laura e Henrique, que começarão esta jornada, provavelmente, no ano de 2012.

Amo vocês.

## AGRADECIMENTOS

Bem, este será dentre todos os textos aqui escritos, o mais inquietante, pois é nesse momento que paramos, respiramos fundo, olhamos para trás e vemos quantas pessoas nos ajudaram nessa caminhada. É realmente perturbador e comovente.

Desde o momento em que nascemos somos acompanhados cuidadosamente, pois somos seres frágeis, indefesos, incapazes de executar atividades que garantem a nossa sobrevivência, como nos alimentarmos, nos locomovermos, dentre outras. Por isso “Deus”, com toda a sua imensa sabedoria, nos deu Pai e Mãe.

Agradeço então aos meus amados pais Berenice e Luiz Roberto, por todos os ensinamentos ao longo da vida, por acreditarem em mim, pelo amor dedicado, os quais permitiram que eu estivesse nesse exato momento escrevendo este agradecimento.

Agradeço às minhas queridas irmãs Nádia e Cristina, pelo companheirismo em todas as horas, pelas palavras de incentivo e estímulo, e por nunca me deixarem desistir.

Agradeço ao meu marido Guilherme, pela paciência e compreensão da minha ausência neste último ano, pois todo esse sacrifício é em prol de nossa família.

Um agradecimento especial ao meu dedicado Orientador Augusto Alvim, sempre disposto e atencioso, acreditando no sucesso de nossa desafiadora empreitada.

Ao meu co-orientador João Marcelo Ketzer, pela paciência e disposição em ensinar uma economista o que vem a ser o armazenamento geológico de carvão, e que existe sim uma enorme diferença entre o carvão de churrasco e o carvão de uma jazida. Agradeço também pelo voto de confiança em mim depositado nesse trabalho.

Agradeço a minha grande amiga Aline, pelo apoio e companheirismo nesta etapa final, que digamos é a mais solitária e dificultosa e, pelas revisões textuais que tornaram o texto mais agradável de ser lido. Obrigada por tudo, te adoro de coração.

A um grande amigo de toda uma vida, Ricardo Schmidt. Mais uma vez meu muito obrigado, pela ajuda técnica e pelo apoio moral. Você sabe que tem uma cadeira vitalícia em meu coração.

Um agradecimento especial à Ligia e Clóvis, pelo apoio e confiança ao longo desta jornada, acreditando sempre no sucesso desta empreitada.

Aos meus queridos colegas e amigos do Mestrado da turma de 2007, Pilar, Paulo, Marcel, Deivis, Roberto, Eduardo e Fábio, que foram grandes parceiros de estudo nestes dois anos, sempre tendo como refúgio de estudo o salão de festas lá de casa.

Aos novos amigos e colegas da turma de 2008, Gustavo, Jules, Cassiano, Fabrini, Henrique e Eduardo que incentivaram o estudo no tema escolhido para a dissertação.

Às minhas amigas do coração Simone e Lisiane, sempre prontas a ajudar cedendo um colo mais que amigo. Adoro vocês!

Um carinho todo especial, à Professora Izete, que sempre esteve de portas e ouvidos abertos para ajudar no que fosse preciso. Obrigada Professora!

Agradeço também a todos os professores do PPGE, que contribuíram para que esta caminhada fosse possível, dificultosa e trabalhosa algumas vezes, mas muito gratificante.

Não tem como deixar de agradecer às nossas meninas da secretaria do PPGE, Janaina e Flávia, sempre prontas a ajudar e disponibilizar salas e cabo de internet para as longas tardes de estudo.

## **ARTIGO 1**

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Comparativo entre os Indicadores Econômicos e Indicadores Ambientais .....	29
Quadro 2 - Gases de Efeito Estufa e suas principais atividades emissoras .....	32
Quadro 3 - Resumo de previsões do IPCC para os impactos do aumento da emissão dos GEE em diversas regiões do mundo .....	33

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Matriz Energética Brasileira, 2006 .....	37
Figura 2 - Número de atividades de projeto no Brasil - Total de 295 projetos .....	40
Figura 3 - Número de projetos brasileiros por escopo setorial - Total de 295 projetos .....	40

## **ARTIGO 2**

### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Triângulo de estabilização de Sokolow .....	61
Figura 2 - Esquema de opções do armazenamento geológico de CO <sub>2</sub> .....	63
Figura 3 - Fluxograma do processo de CCGS .....	64
Figura 4 - Estrutura física de uma planta com ECBM tendo como fornecedora de CO <sub>2</sub> uma fonte estacionária .....	68
Figura 5 - Mapa de Localização das camadas de carvão associadas às fontes emissoras de CO <sub>2</sub> .....	69

### **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Tipos de Reservatórios de Armazenamento Geológico de CO <sub>2</sub> e suas capacidades mundiais .....	66
---	----

### **ARTIGO 3**

#### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 - Estruturação de perfuração de poços de injeção de CO <sub>2</sub> e extração de CH <sub>4</sub> .....	86
Figura 2 - Detalhe da estrutura de um poço injetor de CO <sub>2</sub> e de um poço de extração de Gás natural (CH <sub>4</sub> ) .....	86
Figura 3 - Mapa Jazida de Charqueadas e da localização do Pólo Petroquímico .....	88

#### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1 - Exigências e informações técnicas da Jazida de Charqueadas para realização de ECBM-CO <sub>2</sub> .....	89
Quadro 2 - Parâmetros do cálculo do número de poços para o projeto ECBM na jazida de Charqueadas .....	91

#### **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 - Descritivo e orçamentário de componentes físicos para a instalação do Projeto de ECBM-CO <sub>2</sub> – Jazida de Charqueadas .....	92
Tabela 2 - Projeção da evolução das receitas .....	96
Tabela 3 – Cenários .....	99
Tabela 4 - Resultados dos indicadores econômicos por cenário .....	100

#### **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1 - Receita Bruta anual da atividade nos cenários de 01 a 06 com e sem a obtenção dos créditos de carbono .....	104
Gráfico 2 - Evolução da Receita Líquida da Atividade com e sem a obtenção dos Créditos de Carbono .....	105
Gráfico 3 - Valor Presente Líquido da atividade nos cenários de 01 a 06 com e sem a obtenção de Créditos de Carbono .....	105



## SUMÁRIO

<b>APRESENTAÇÃO</b> .....	13
<b>ARTIGO 1 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E O PROTOCOLO DE QUIOTO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E APLICABILIDADE DOS MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO</b> .....	16
<b>RESUMO</b> .....	16
<b>ABSTRACT</b> .....	16
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 ANÁLISE HISTÓRICO-ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE</b> .....	18
2.1 A PERSPECTIVA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	21
<b>2.1.1 Sustentabilidade na Perspectiva Econômica, Ambiental, Social, Geográfica e Cultural - como Pano de Fundo para a Preocupação com o Meio Ambiente</b> .....	21
<b>2.1.2 Desenvolvimento Sustentável: Perspectiva Teórica</b> .....	22
<b>3 INSTRUMENTOS ECONÔMICOS DE GESTÃO AMBIENTAL</b> .....	25
3.1 OS INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	27
3.2 APLICABILIDADE DOS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS DE GESTÃO AMBIENTAL NA ATUALIDADE .....	29
<b>4 PROTOCOLO DE QUIOTO</b> .....	31
4.1 OS MECANISMOS DE FLEXIBILIZAÇÃO .....	33
4.2 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO .....	34
<b>4.2.1 Requisitos de Participação</b> .....	35
<b>4.2.2 Metodologia do Projeto de implementação do MDL</b> .....	35
<b>4.2.3 MDL na Prática</b> .....	36
4.3 O MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO .....	38
4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS DE MDL NO BRASIL .....	39

4.5 NOVAS TECNOLOGIAS PARA A REDUÇÃO DE GEE .....	41
<b>5 ASPECTOS IMPORTANTES A SEREM CONSIDERADOS SOBRE O PROTOCOLO DE QUIOTO - PÓS 2012.....</b>	<b>42</b>
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>44</b>
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>46</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>51</b>
ANEXO A - Os países que assinaram o Protocolo de Quioto são denominados de Países do Anexo I.....	52
ANEXO B - Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões (porcentagem do ano base ou período).....	54
<b>ARTIGO 2 - NOVAS TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL: O ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> EM CAMADAS DE CARVÃO E A GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA .....</b>	<b>55</b>
<b>RESUMO.....</b>	<b>55</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>55</b>
<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>56</b>
<b>2 O PROTOCOLO DE QUIOTO E A PERSPECTIVA DE INCLUSÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS .....</b>	<b>57</b>
<b>3 ASPECTOS TÉCNICOS ENVOLVENDO O CO<sub>2</sub>.....</b>	<b>59</b>
3.1 CARACTERÍSTICAS DO CO <sub>2</sub> .....	60
3.2 PROCESSO DE ARMAZENAMENTO DE CO <sub>2</sub> .....	62
3.3 MÉTODOS PARA CAPTURA, TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE CO <sub>2</sub> .....	64
<b>3.3.1 Captura de CO<sub>2</sub> .....</b>	<b>64</b>

3.3.2 Métodos e Características de Transporte de CO <sub>2</sub> .....	65
3.3.3 Opções de Armazenamento de CO <sub>2</sub> .....	66
4 ECBM-CO <sub>2</sub> .....	67
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO.....	69
<b>5 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA FINANCEIRA.....</b>	<b>72</b>
5.1 VIABILIDADE ECONÔMICA: CONCEITOS FINANCEIROS E CONTÁBEIS PARA A MODELAGEM DO PLANO DE NEGÓCIOS.....	72
5.1.1 Modelo Financeiro .....	72
5.1.2 Elaborando a Viabilidade Econômico-Financeira do projeto.....	73
5.1.3 Projeção das receitas e despesas.....	75
5.1.4 Estudo de caso: Armazenamento Geológico de CO <sub>2</sub> - Projeto de Sleipner.....	76
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
REFERÊNCIAS .....	79
<b>ARTIGO 3 - ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> EM CAMADAS DE CARVÃO : AVALIAÇÃO ECONÔMICA-FINANCEIRA DE UM PROJETO COMERCIAL DE ECBM-CO<sub>2</sub> NA JAZIDA DE CHARQUEADAS.....</b>	<b>83</b>
RESUMO.....	83
ABSTRACT .....	83
1 INTRODUÇÃO .....	84
2 ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO <sub>2</sub> EM CAMADAS DE CARVÃO .....	85
2.1 DIMENSIONAMENTO FÍSICO DE PROJETO DE ECBM.....	85
2.2 PREMISSAS TÉCNICAS – ECBM NA JAZIDA DE CHARQUEADAS .....	90

<b>3 ANÁLISE FINANCEIRA</b> .....	94
3.1 RECEITAS.....	95
3.2 INDICADORES ECONÔMICOS.....	97
3.3 PREMISSAS DA CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS.....	98
3.4 ANÁLISE FINANCEIRA.....	100
<b>4 CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	106
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	108
<b>ANEXOS</b> .....	111
ANEXO A - Especificações técnicas do compressor para a extração de CH <sub>4</sub> .....	112
ANEXO B - Especificações técnicas do compressor para a distribuição de CH <sub>4</sub> nos dutos de comercialização .....	112
ANEXO C - Especificação técnica das Bombas e Máquinas de bombeamento .....	113
ANEXO D - Descrição técnica dos equipamentos alugados.....	113
ANEXO E - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 0,75 o metro cúbico, sem a obtenção dos créditos de carbono .....	114
ANEXO F - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 0,75 o metro cúbico, com a obtenção dos créditos de carbono.....	115
ANEXO G - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,08 o metro cúbico, sem a obtenção dos créditos de carbono .....	116
ANEXO H - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,08 o metro cúbico, com a obtenção dos créditos de carbono.....	117
ANEXO I - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,32 o metro cúbico, sem a obtenção dos créditos de carbono .....	118
ANEXO J - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,32 o metro cúbico, com a obtenção dos créditos de carbono.....	119

ANEXO K - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,58 o metro cúbico, sem a obtenção dos créditos de carbono .....	120
ANEXO L - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,58 o metro cúbico, com a obtenção dos créditos de carbono.....	121
ANEXO M - Planilha base cálculo receitas, considerando o valor de R\$ 0,75 metro cúbico do gás e sem a obtenção de créditos de carbono.....	122
ANEXO N - Planilha base de cálculo dos Impostos e Tributos da atividade considerando o cenário com R\$ 0,75 o m <sup>3</sup> do gás sem créditos de carbono .....	123

## APRESENTAÇÃO

O presente trabalho de pesquisa, é composto por um conjunto de três artigos, que apesar de serem independentes, estão diretamente ligados ao mesmo tema geral da pesquisa, voltado ao desenvolvimento sustentável e ao armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em camadas de carvão como uma nova alternativa para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

Na elaboração do trabalho, buscou-se compreender como a questão ambiental ganhou força no cenário mundial, no que trata da sua presença em congressos e convenções de cunho internacional até a sua concretização sob a forma de protocolo – o Protocolo de Quioto.

O Protocolo de Quioto composto por mais de 50 países do hemisfério norte, denominados de países Anexo I, tem o compromisso de reduzir suas emissões de gases de efeito estufa em torno de 5% dos níveis apresentados para o ano de 1990.

Nesse ínterim, através de medidas efetivas no combate ao aquecimento global, o protocolo se apresenta como uma primeira ferramenta capaz de mudar os rumos na concepção da produção, passando a existir uma preocupação adicional, a de produzir de maneira mais eficiente e com menos emissão de GEE.

Este processo exigiu também o estudo sobre novas tecnologias que vem sendo adotadas principalmente pelos países desenvolvidos, com vistas a reduzir os efeitos de um problema mundial, denominado de aquecimento global.

Para tanto, investigou-se sobre as novas pautas de discussões da Conferência das Partes da Organização das Nações Unidas, ou seja, quais as propostas de tecnologias estão sendo discutidas no intuito de virem a integrar os Mecanismos de Flexibilização via Protocolo de Quioto, sendo desse modo, beneficiadas com a geração de créditos de carbono.

Sobremaneira, dentre as consideradas novas tecnologias, destaca-se o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> como uma promissora alternativa capaz de seqüestrar uma grande quantidade desse gás de fontes estacionárias<sup>1</sup>, o qual, sem a sua utilização, seria liberado na atmosfera.

Diante desta potencialidade, buscou-se uma incursão a respeito do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em jazidas de Carvão denominado de ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub>) para o município de Triunfo, dado que este processo permite além do armazenamento do CO<sub>2</sub> por dezenas de milhares de anos, a produção de gás natural

---

<sup>1</sup> Fonte Estacionária: local em que é possível a captura de dióxido de carbono, como por exemplo grandes indústrias.

contida naturalmente no carvão, se tornando assim, uma fonte geradora de energia mais limpa. Logo, diante desta expectativa de implementação de ECBM-CO<sub>2</sub> no Rio Grande do Sul, concomitantemente com a potencialidade da geração de inúmeros postos de empregos diretos e indiretos, destaca-se a jazida de Charqueadas como local com características geológicas adequadas do carvão para esse fim, bem como a presença de uma fonte estacionária fornecedora de CO<sub>2</sub> localizada próxima à jazida, o Pólo Petroquímico de Triunfo.

Destarte, apresenta-se como problema de pesquisa o seguinte questionamento: É economicamente viável a realização do processo de ECBM - CO<sub>2</sub> na Jazida de Charqueadas como forma de geração de energia limpa?

Sendo assim, e tendo como objetivo geral do trabalho de pesquisa avaliar a viabilidade econômica da captura e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> na jazida de carvão mineral de Charqueadas e extração de Gás Natural para abastecimento do Pólo Petroquímico, elencou-se três objetivos específicos, que foram assim decompostos:

- a) realizar uma análise histórica da problemática sócio-econômica, destacando o Protocolo de Quioto e os mecanismos de flexibilização.;
- b) analisar o processo de armazenamento geológico CO<sub>2</sub> em camadas de carvão e sua perspectiva de figurar dentre os Mecanismos de Flexibilização, bem como a identificação de locais em potencial de sua realização em território brasileiro;
- c) estudar a jazida de Charqueadas do Rio Grande do Sul e suas especificações técnicas para a realização de estudo de viabilidade econômica financeira do processo de ECBM-CO<sub>2</sub>.

Deste modo, o que se apresenta nos artigos que seguem é um conjunto de questões inter-relacionadas e voltadas a um mesmo tema central que é a avaliação das reais potencialidades do ECBM-CO<sub>2</sub> vir a ser executado na Jazida de Charqueadas, como uma nova tecnologia capaz de gerar energia mais limpa e passar a integrar os Mecanismos de Flexibilização, estes criados no Protocolo de Quioto, vislumbrando a aquisição de Créditos de Carbono, que na maioria dos projetos, viabiliza economicamente tal atividade.

*Informa-se:* Os três artigos que compõem a dissertação de mestrado serão submetidos à Revista Desenvolvimento e Meio Ambiente, de publicação semestral do Curso de Pós Graduação em Meio Ambiente e Desenvolvimento da Universidade Federal do Paraná.

Mais especificamente, o artigo 1, apresenta uma breve discussão a respeito da evolução da temática do meio ambiente no âmbito mundial, além das ferramentas criadas para que os problemas advindos da interferência antrópica fossem minimizados. O artigo destaca

ainda como a temática meio ambiente e desenvolvimento sustentável ganharam dimensões mundiais, bem como estas se materializaram em forma de tratados, convenções e protocolo para que efetivamente viessem a combater o aquecimento global.

No artigo 2, buscou-se trazer para discussão as novas tecnologias que vem sendo adotadas, principalmente pelos países desenvolvidos, no combate ao aquecimento global. Dentre estas novas tecnologias, destacou-se o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, visto sua elevada potencialidade de seqüestrar o CO<sub>2</sub> que seria liberado na atmosfera.

Diante desta realidade e de posse desta nova tecnologia, discutiu-se sobre a potencialidade desta alternativa vir a ser contemplada como algum dos Mecanismos de Flexibilização - via Protocolo de Quioto - permitindo que da sua implementação sejam obtidos créditos de carbono, o que vem a somar para a redução de gases de efeito estufa emitidos na atmosfera.

De modo a vir complementar os estudos sobre a capacidade de execução de ECBM-CO<sub>2</sub>, apresentam-se uma metodologia de formulação de um estudo de viabilidade econômico-financeira do processo de ECBM-CO<sub>2</sub>, bem como a caracterização dos locais que apresentam as características necessárias a sua execução de acordo com as potencialidades da região delimitada para o estudo.

O artigo 3, baseado nas informações compiladas no artigo 2, delimitou como local de potencialidade para execução de ECBM-CO<sub>2</sub> no estado do Rio Grande do Sul, o município de Triunfo, o qual utilizará para o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> e posterior extração de gás, a jazida de Charqueadas.

Sendo assim, elaborou-se um estudo de viabilidade econômico-financeira de execução de projeto de ECBM-CO<sub>2</sub> de acordo com as características da Jazida de Charqueadas, dentre elas sua capacidade de geração de energia, a qual é embasada no volume de carvão contido na jazida, além das limitações no fornecimento do insumo básico a sua implementação: o CO<sub>2</sub>.



# **ARTIGO 1 - DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E O PROTOCOLO DE QUIOTO: UMA ABORDAGEM HISTÓRICA E APLICABILIDADE DOS MECANISMOS DE DESENVOLVIMENTO LIMPO**

## **RESUMO**

O presente artigo tem por objetivo a análise histórica da evolução da temática que envolve o desenvolvimento sustentável, visando à compreensão de como este assunto tornou-se pauta de discussões a nível mundial até a formulação e execução do Protocolo de Quioto. O Protocolo de Quioto, portanto, demonstrou ser uma importante ferramenta no combate a redução das emissões dos gases de efeito estufa e dessa forma foi realizada uma detalhada descrição de como ele foi formulado, além de como ele vem sendo utilizado no propósito para o qual foi criado. Dando destaque à realidade brasileira, apresentou-se os resultados obtidos na implementação de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo e de como esta tem participado no mercado de Créditos de Carbono.

**Palavras-chave:** Desenvolvimento sustentável. Protocolo de Quioto. Mercado de Créditos de Carbono.

## **ABSTRACT**

The present paper has as its objective the historical analysis of the evolution of the thematic that involves sustainable development, seeking for a comprehension on how this subject became a guideline for worldwide discussion up to the formulation and execution of the Protocol of Kyoto. This protocol proved to be an important tool in combating the reduction of the emission of gases due to the greenhouse effect. This way a detailed description was carried out on how it was formed and on how it is being used for the intention it was originally created for. Highlighting the Brazilian reality and on how the country has its participation in the Carbon Credit Market.

**Keywords:** Sustainable development. Protocol of Kyoto. Carbon Credit Market.

## 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, tanto por empresários como por formuladores de políticas públicas. Diante deste novo cenário, o conceito de Desenvolvimento Sustentável veio á fortalecer o processo de mudança no uso dos recursos naturais, na orientação dos investimentos, nas decisões de ordem política e na reformulação das instituições públicas.

Nesse ínterim, começam a surgir os Encontros e Convenções, a fim de tratar da degradação do meio ambiente causadas pela interferência do homem. Posteriormente, estes evoluíram para a forma de Tratados e Protocolos com caráter Internacional, almejando o desenvolvimento sustentável com vistas a beneficiar as gerações futuras.

O objetivo primordial deste estudo é realizar uma análise da problemática econômica e ambiental, identificando sua trajetória e seus movimentos até os dias atuais. Logo após essa revisão histórica, ao chegar aos dias atuais, tratar-se-á do Protocolo de Quioto, que se destaca por ser uma ferramenta que vem impulsionando a adoção de processos que resultam nas reduções das emissões dos Gases de Efeito Estufa (GEE), identificados como responsáveis pelo Aquecimento Global.

Para tanto, dentre as alternativas criadas no Protocolo de Quioto, destaca-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) que se apresenta como um novo instrumento que permite a internalização de modelo de gestão ambiental, com vistas ao desenvolvimento sustentável por países em desenvolvimento, sendo que esses possuem a obrigatoriedade de redução de emissão dos GEE.

Os projetos enquadrados como MDL, que serão analisados em sua metodologia, enquadramento e forma de aplicação, tem possibilitado a obtenção de Certificado de Emissões ou Créditos de Carbono, que na maioria dos casos viabiliza a sua implementação, por se tornar uma fonte de receita no final do seu processo.

## 2 ANÁLISE HISTÓRICO-ECONÔMICA DO MEIO AMBIENTE

As raízes do movimento ambientalista, segundo Turner (1994), podem ser identificadas a partir da segunda metade do século XIX. Nos Estados Unidos da América, um movimento ambientalista representado por preservacionistas e conservacionistas já identificavam a necessidade da preservação de determinadas espécies da fauna e da flora, surgindo então o estímulo à constituição de parques protegidos, sendo o primeiro parque mundial criado em 1872 nos EUA, denominado de Yellowstone National Park.

No pós-guerra o ambientalismo apresenta novo corpo, tornando evidente a preocupação com os armamentos termonucleares nascentes, os quais, segundo Acot (1990) representavam uma ameaça que punha em risco a espécie humana. Seguindo esta inquietação, inúmeros tratados passaram a abordar as conseqüências das atividades do homem sobre a natureza, contribuindo progressivamente para os avanços a fauna e da flora, surgindo entreservdo por preservacionistas e conservacionistas j de Desenvolvimento limpo qualificado para nos conhecimentos e na divulgação dos mesmos.

A publicação, em 1962, de *Primavera Silenciosa*<sup>2</sup> foi um dos acontecimentos identificados como o propulsor da Revolução Ambiental, ajudando a desencadear uma mudança de postura dos EUA e de outros países do mundo em relação aos pesticidas e poluentes, que vinha gradativamente prejudicando o meio ambiente.

A partir da década de 1970 o tema Meio Ambiente passou a fazer parte da agenda em escala mundial, e o Clube de Roma<sup>3</sup>, juntamente com o grupo de pesquisas de Massachusetts Institute of Tecnology (MIT), elaborou, no ano de 1970, um estudo denominado “Limites do Crescimento” apresentando modelos que relacionavam “variáveis de crescimento econômico, explosão demográfica, poluição e esgotamento dos recursos naturais devido à acelerada industrialização e urbanização juntamente com a explosão demográfica” (MEADOWS, 1972).

Após dois anos, em 1972, a Conferência de Estocolmo criou o Programa das Nações Unidas de Meio Ambiente (PNUMA) cujo objetivo era encorajar a ação governamental e os organismos internacionais à proteção do meio ambiente humano. As propostas apresentadas

---

<sup>2</sup> *Primavera Silenciosa* foi um livro escrito por Rachel Louise Carson que marcou o início da revolução ecológica nos Estados Unidos, trazendo uma série de advertências sobre o meio ambiente. Ainda hoje, a obra é considerada uma das mais importantes do século, ajudando a desencadear uma mudança de postura dos EUA e de outros países do mundo em relação aos pesticidas e poluentes.

<sup>3</sup> *O Clube de Roma* é um grupo composto por cientistas, industriais e políticos, que tinha como objetivo discutir e analisar os limites do crescimento econômico levando em conta o uso crescente dos recursos naturais. Foi fundado em 1968 por Aurelio Peccei, industrial e acadêmico italiano e Alexander King, cientista escocês.

na conferência de Estocolmo tiveram como base os dados publicados pelo relatório do Clube de Roma.

Dessa conferência resultaram os princípios que representaram compromissos entre as nações, sendo que ela recomendava ainda, a assistência técnica e financeira de países desenvolvidos, as quais atribuíam às “instituições nacionais apropriadas, as tarefas de planejamento, gerenciamento e controle dos recursos ambientais”.

A posição do Brasil, conforme descrito em Nobre (2002) no que tange às questões ambientais é idêntica a dos demais países do chamado Terceiro Mundo<sup>4</sup>: o crescimento econômico não deveria ser sacrificado em nome de um ambiente mais puro. Os delegados brasileiros até reconheceram a ameaça da poluição ambiental, mas sugeriram que os países desenvolvidos deveriam pagar pelos esforços dessa purificação. Além disso, segundo Souza (2008) o Brasil discordou da relação direta entre crescimento populacional e exaustão dos recursos naturais, opondo-se fortemente às propostas de medidas de controle de natalidade.

Nos anos 80, mais precisamente no ano de 1985, a Convenção de Viena remodelou o debate a respeito do Meio Ambiente para um enfoque agora preventivo, dado que seus principais objetivos eram o de proteger a saúde humana e o meio ambiente contra os efeitos adversos causados pelo desenvolvimento, bem como garantir os recursos naturais necessários para a sobrevivência das gerações futuras, nascendo então o conceito de *Desenvolvimento Sustentável*.

O conceito de Desenvolvimento Sustentável emerge do Relatório de Brundtland, conhecido também como *Nosso Futuro Comum*, o qual foi elaborado no ano de 1987 - tendo como objetivo a busca concomitante de eficiência econômica, justiça social e harmonia ambiental, sendo que para tal feito, a indústria deveria passar a produzir mais utilizando menos recursos (BRUNDTLAND, 1987).

Neste ínterim, o conceito de desenvolvimento sustentável apresentado por Almeida, resume pontualmente o que foi destacado anteriormente:

Desenvolvimento sustentável passa a ser mais que um conceito, sendo um processo de mudança onde a exploração de recursos, a orientação dos investimentos, os rumos do desenvolvimento ambiental e a mudança institucional devem levar em conta as necessidades das futuras gerações (ALMEIDA, 1996, p. 13).

Logo após a divulgação do Relatório Brundtland, a política ambiental no mundo começou a sofrer uma reformulação, e este novo rumo implicou na criação de um pacto entre

---

<sup>4</sup> A expressão países de terceiro mundo, utilizada por Nobre, refere-se aos países em desenvolvimento.

as nações, que para tanto criaram a Conferência Internacional: Unced 92 - Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento - realizada no Rio de Janeiro/Brasil mais conhecida como Eco-92.

A Eco 92 teve por objetivo avaliar como os países haviam promovido a proteção ambiental até o momento e discutir os encaminhamentos para questões específicas como as Mudanças Climáticas (Aquecimento Global), proteção da biodiversidade e outras. Logo a intenção era conhecer a realidade mundial, no que diz respeito ao meio ambiente, com vistas a elaborar estratégias e medidas para deter a degradação do meio ambiente, tanto no âmbito nacional como internacional, conseguindo dessa forma promover o desenvolvimento ambientalmente sustentável. Segundo Romeiro (1993), a Eco 92 contou com a participação de 178 delegações de Estados e mais de 1.400 ONG (Organizações não governamentais) e com a presença maciça da sociedade civil, lançando as bases sobre quais os países deveriam, a partir daquela data, empreender ações concretas para a melhoria das condições sociais e ambientais a nível global. Como resultado desta conferência de âmbito mundial, foi assinada a Declaração do Rio e a Agenda 21.

A Eco 92, por ser um evento deste porte e tratar de um tema tão complexo, contou com o apoio da ONU<sup>5</sup>, que em meados dos anos 80 havia criado o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas - IPCC, responsável pela publicação periódica de relatórios sobre novas descobertas científicas, em especial os efeitos dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

Através do seu primeiro relatório, no ano de 1990, a ONU convocou o início dos trabalhos que vieram a resultar na Convenção Quadro sobre os efeitos da Mudança do Clima. Esta por sua vez terminou em 1992, e foi aberta para assinaturas e ratificações na própria Eco 92, entrando em vigor em 1994 com a participação de 182 países-partes, passando a ser considerada como um grande passo para a estabilização da emissão dos GEE, de acordo com o IPCC (2005).

Contudo, a Convenção Quadro das Nações Unidas sobre a Mudança do Clima não tem caráter impositivo, com normas e regras específicas em caso de não cumprimento. Logo, foi nesse contexto que emergiu a importância do Protocolo de Quioto, que veio a regulamentar e especificar a Convenção. O Protocolo de Quioto é um Anexo à Convenção, mas que possui regras e diretrizes próprias, com sanções aos infratores, assegurando que ele tenha uma real efetividade, além de garantir o cumprimento das metas estabelecidas. O principal objetivo do

---

<sup>5</sup> ONU : Organização das Nações Unidas

Protocolo é contribuir com ações efetivas para a redução dos GEE em torno de 5,2% das emissões registradas no ano de 1990.

Dessa forma, e pela evidente importância do Protocolo de Quioto como ferramenta no combate à emissão de GEE, esse será tratado em detalhes neste artigo.

## 2.1 A PERSPECTIVA DO DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

### **2.1.1 Sustentabilidade na Perspectiva Econômica, Ambiental, Social, Geográfica e Cultural - como Pano de Fundo para a Preocupação com o Meio Ambiente**

A idéia de sustentabilidade, segundo Harte (1995) está ligada à persistência de certas características indispensáveis e desejáveis das pessoas, comunidades, organizações e dos ecossistemas que as envolvem. Assim, para atingir o progresso técnico em direção a sustentabilidade, deve-se alcançar concomitantemente o bem estar humano e dos ecossistemas.

Desse modo, seguem as perspectivas da sustentabilidade na área Econômica, Social, Ambiental, Geográfica e Cultural de forma complementar ao entendimento interdisciplinar da sustentabilidade, como escreveu Sachs (1986, p. 37): “Considerando a sustentabilidade como um conceito dinâmico que engloba um processo de mudança, o desenvolvimento sustentável apresenta cinco dimensões”.

A Sustentabilidade na perspectiva Econômica, segundo Daly (1992) indica que a teoria econômica deve atender a 3 objetivos: alocação, distribuição e escala, ou seja alocação e distribuição eficiente dos recursos naturais dentro de uma escala apropriada, deixando claro a necessidade de suplantarem os modelos tradicionais, que medem crescimento e desempenho da economia, por indicadores que incorporem a variável ambiental. A expansão do modelo de mensuração pode emitir sinais de alarme imprescindíveis para reorientar a direção econômica rumo ao crescimento sustentável.

Sobre a perspectiva Social, Sachs (1986) refere-se a um processo de desenvolvimento que leve a um crescimento estável, com distribuição equitativa de renda, gerando com isso, a diminuição das atuais diferenças entre os diversos níveis na sociedade e a melhoria das condições de vida das populações.

Na perspectiva Ambiental, Rutherford (1997) indica que a principal preocupação é relativa aos impactos das atividades humanas sobre o meio ambiente, indicando a redução na utilização de combustíveis fósseis, a diminuição das emissões de substâncias poluentes, adoção de políticas de conservação de energia e de recursos, substituindo recursos não-renováveis por renováveis, aumentando eficiência em relação aos recursos utilizados. Esta perspectiva pode ser agregada à Geográfica e à Cultural, pois relaciona o caminho da modernização sem o rompimento da identidade cultural dentro de contextos espaciais específicos, alcançando o progresso em direção a sustentabilidade, sendo esta uma escolha da sociedade, das organizações, das comunidades e dos indivíduos.

### **2.1.2 Desenvolvimento Sustentável: Perspectiva Teórica**

O conceito de desenvolvimento sustentável, como abordado anteriormente, visa à alocação de forma eficiente dos recursos, pois dada à conceituação da teoria econômica, os bens são escassos e as necessidades humanas ilimitadas. Logo é preciso encontrar uma maneira mais eficiente de alocar estes recursos com a preocupação de garantir às gerações futuras a continuidade de seu uso respeitando as restrições orçamentárias.

Na teoria econômica no que trata da economia do meio ambiente identifica-se duas principais correntes: Economia Ecológica e Economia Ambiental.

#### **- ECONOMIA ECOLÓGICA:**

A corrente da Economia Ecológica vê a economia como um subsistema que lhe impõe uma restrição absoluta, não havendo como realizar a perfeita substitutibilidade dos fatores, já que capital e recursos naturais são insumos complementares. Os economistas que compõem esta corrente concordam que o progresso científico é fundamental para aumentar a eficiência na utilização dos recursos e nesse sentido admite que é possível instituir mecanismos de fomento ao aumento desta eficiência, mas não acreditam na possibilidade da substituição de recursos naturais por capital/trabalho. Esta visão da economia ecológica é referida através do conceito de *Sustentabilidade Forte*.

O problema central, no que tange a discussão da economia ecológica, conforme Almeida (1998) reside na sustentabilidade das relações entre o sistema econômico -

eficiência alocativa dos recursos naturais - capacidade de suporte do meio ambiente, funcionando de forma combinada.

A economia ecológica, associada às características dos recursos naturais, identifica que há enormes limites efetivos e lógicos à substituição dos recursos naturais com o progresso técnico. Para esta corrente, “a substitutibilidade existente é entre os recursos exauríveis e os renováveis” (DALY, 1992, p. 18).

Para os economistas ecológicos, os limites do crescimento são reais, devido à escassez dos recursos naturais e a capacidade de suporte do meio ambiente, sendo estes pouco prováveis de serem superados pelo progresso tecnológico. Para Turner (1994) e Harte (1995) alguns serviços do ecossistema são indispensáveis para a sobrevivência humana e não são substituíveis.

#### - ECONOMIA AMBIENTAL:

A corrente neoclássica considera que os recursos naturais não representam, a longo prazo, um limite à expansão da economia, pois inicialmente a função de produção<sup>6</sup> contava apenas com dois insumos: capital e trabalho. Posteriormente foram adicionados aos cálculos da função de produção os recursos naturais, mas tinha-se como condição a perfeita substitutibilidade entre capital, trabalho e os recursos naturais.

Este pressuposto da perfeita substitutibilidade dos insumos assume que exista o progresso técnico, condição a qual permite a longo prazo superar os limites ou escassez dos recursos naturais, pois esse avanço tecnológico permite a substituição dos recursos naturais por capital/trabalho.

A corrente da Economia Ambiental é conhecida como Sustentabilidade Fraca, em suma, porque “tudo se passa como se o sistema econômico fosse capaz de se mover suavemente de uma base de recursos para outra, à medida que cada uma é esgotada, sendo o progresso científico e tecnológico a variável chave para garantir que esse processo de substituição não limite o crescimento econômico a longo prazo” (ROMEIRO, 2001, p. 7).

Para tanto, Solow (1974) propôs no seu modelo, conhecido como “critério de Solow”, a restrição de que a função consumo seja constante ou crescente no longo prazo. No entanto

---

<sup>6</sup> Função de Produção: relaciona a quantidade dos insumos necessários para a produção de determinado bem. Esta proporção, inicialmente era entre capital e trabalho necessários, por exemplo  $Y = 2K + 3L$ , onde esta função identifica que para produzir Y preciso de 2 unidades de K (capital) e 3 unidades de L (trabalho).



esta restrição influencia na mensuração da utilidade, dado o consumo constante, mantém-se também a utilidade constante.

“A função consumo constante, está associada à outra condicionante: um estoque de capital constante, ou seja, para a manutenção de uma utilidade não declinante, requer-se um reinvestimento das rendas provenientes do uso dos recursos naturais em capital reprodutível.” (PEARCE; ATKINSON, 1995, p. 167).

Conforme Nobre e Amazonas (2002, p. 132),

Desse modo, uma forma de conceituação de sustentabilidade pela economia neoclássica está em propor que o elemento a ser mantido constante para ser transmitido para as gerações futuras seja o total de capital. Esta conceituação, que entende a sustentabilidade como a utilidade constante dada por um consumo constante e este por um capital total constante, é denominado de sustentabilidade fraca,

pois a manutenção do capital constante ocorre através da substitutibilidade entre recursos naturais, capital e trabalho.

Nesse ínterim, o mecanismo de preços é indispensável, pois na medida em que um recurso natural torna-se escasso e seu preço se eleva, possibilita a utilização de um substituto. Aliada com a eficiência produtiva e a tecnologia, torna-se possível superar as limitações que impedem o crescimento econômico, devido a escassez dos recursos.

Sobremaneira, entre as duas correntes, torna-se evidente que “[...] assim, enquanto a economia ambiental neoclássica se orienta pelo princípio da escassez, a economia ecológica se orienta pela exauribilidade da natureza” (KAPPEL, 1994, p. 58 apud NOBRE; AMAZONAS, 2002).

Juntamente com este debate entre as diferentes correntes da economia, no que tange a questão ambiental, tem-se também o debate nas questões que cercam o Protocolo de Quioto, pois este busca não apenas as substituições de recursos naturais estejam ou não escassos, mas uma maior eficiência tecnológica nos processos através de implementação de tecnologias mais limpas para que reduzam as emissões dos GEE. Acredita-se, assim, que uma melhora nos processos e uma melhor alocação dos recursos existentes, de forma geral, consigam atingir o desenvolvimento sustentável, logo, se enquadrando na vertente da Economia Ambiental.

Assim como no debate acadêmico, no debate em nível mundial acerca do Protocolo de Quioto existem pesquisadores que não acreditam na sua eficácia, estando pautados na linha da Economia Ecológica, justificando assim não existir a perfeita substitutibilidade entre recursos naturais e tecnológicos. Acreditam que diversos esforços e recursos vêm sendo despendidos

por uma causa que não irá solucionar os problemas emergentes, que é o de incentivar o desenvolvimento verdadeiramente sustentável. Os que acreditam na eficácia do Protocolo de Quioto, o vêem como uma oportunidade de modernizar processos produtivos altamente poluentes e ineficientes, contribuindo assim para o verdadeiro desenvolvimento sustentável.

Para tanto, torna-se necessário à adoção de instrumentos que permitam concretizar as ações em prol do meio ambiente, tanto de forma direta como de forma indireta. Logo, foram implementados os Instrumentos Econômicos, no intuito de contribuir para a eficácia dessas ações, os quais serão abordados na seção seguinte.

### **3 INSTRUMENTOS ECONÔMICOS DE GESTÃO AMBIENTAL**

Verifica-se que a partir da difusão do conceito de desenvolvimento sustentável, bem como da conscientização de governantes e população no que tange a questão ambiental, houve uma crescente adoção de Instrumentos Econômicos – IE.

Os Instrumentos Econômicos passaram a ser adotados visando minimizar impactos ambientais ou evitar a degradação dos recursos naturais, o que vem, portanto, tornando possível a associação entre crescimento econômico e desenvolvimento sustentável. Em muitos casos, essa tendência pode ser constatada, por exemplo, pelo estabelecimento de metas globais de redução da emissão dos Gases de Efeito Estufa (GEE).

Ao se estabelecer padrões de sustentabilidade de um recurso podem-se induzir os agentes a moderar o uso do recurso e, assim, respeitar o padrão de qualidade, ou encaminhar-se para sua consecução, mediante o uso dos instrumentos econômicos à disposição. Entre eles destacam-se os instrumentos de cobrança pelo uso do recurso e o estabelecimento de permissões negociáveis de utilização. Esses instrumentos permitem atingir em longo prazo, um total de utilizações que não ultrapasse a capacidade de suporte ou assimilação dos recursos naturais a disposição.

Os Instrumentos Econômicos de Política Ambiental podem ser classificados, segundo Motta e Mendes (1997, p. 4), em dois tipos: a) *Comando e Controle*, “que consistem na internalização do custo externo ambiental, através da adoção de mecanismos de comando-e-controle (padrões ambientais, licenciamento e sanções legais)” e b) *Incentivos de Mercado*: instrumentos que atuam indiretamente sobre os preços. “Procuram estabelecer níveis desejados de uso do bem ou serviço ambiental como, por exemplo, a

quantidade total de poluição ou de uso permitida, através da distribuição de certificados ou direitos de propriedade que são distribuídos entre os usuários ou produtores” (MOTTA; MENDES, 1997, p. 4).

Os instrumentos de políticas ambientais podem ser classificados ainda como diretos ou indiretos. Os Diretos são aqueles elaborados para resolver questões ambientais, enquanto os Indiretos são desenvolvidos para resolver outros problemas, mas, de uma forma ou de outra, acabam colaborando para as soluções ou agravamento dos problemas relativos ao meio ambiente.

Alguns exemplos de instrumentos considerados Diretos:

a) Comando e Controle:

- *Padrões de emissão*, localidades que programaram limites para emissão de determinados poluentes, por exemplo, de dióxido de enxofre;
- *Controle de equipamentos*: exigência de instalação de equipamentos antipoluição (por exemplo, filtros); obrigatoriedade de uso de tecnologias “limpas” já disponíveis;

b) Incentivos de Mercado:

- *Taxas e tarifas*: podem ser consideradas - *lato sensu* - um preço pago pela poluição, tem-se o exemplo da taxa pela emissão de efluentes, por produto produzido;
- *Cotas transferíveis*; Este instrumento tem a capacidade de criar (artificialmente) um “mercado para poluição”, permitindo aos agentes comprar ou vender direito (cotas) de poluição de fato ou potencial, como por exemplo, os Créditos de Carbono;
- *Subsídios à produção menos poluente*; formas de assistência financeira cujo objetivo é incentivar os poluidores a reduzir os níveis de poluição;
- Sistemas de restituição de depósitos.

No que trata de instrumentos econômicos classificados como indiretos, tem-se como exemplo:

- Impostos e subsídios a equipamentos, processos, insumos e produtos;
- Subsídios a produtos similares nacionais.

Os instrumentos econômicos pretendem, assim, estimular comportamentos de produção, de consumo e de investimento, no sentido da sustentabilidade no desenvolvimento, tanto pela alteração direta dos níveis de preços e de custos (impostos, taxas, subsídios, etc.);

como pela alteração indireta de preços e custos por meio de medidas fiscais ou financeiras, ou ainda pela criação de mercados ou apoio a mercados (por exemplo: títulos negociáveis).

Por conseguinte, faz-se necessário a mensuração da eficácia dos instrumentos a serem utilizados para a obtenção do desenvolvimento sustentável. Nesse intuito, estudos estão sendo realizados na construção de indicadores capazes de medir este desenvolvimento. A seguir será realizada uma breve introdução ao assunto, sem a pretensão de esgotá-lo.

### 3.1 OS INDICADORES DE DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Os indicadores de Desenvolvimento Sustentável são ferramentas essenciais para que se possam analisar os impactos ambientais, causados pela ação do homem na natureza, bem como à realização de projeções futuras no âmbito da elaboração de projetos que tentem minimizar estes impactos.

O objetivo dos indicadores é agregar e quantificar informações de maneira que sua importância fique mais destacada.

Pode-se, então, de acordo com Bellen (2007), elencar as principais funções dos indicadores como segue:

- a) avaliação de condições e tendências;
- b) comparação entre lugares e situações;
- c) avaliação das condições e tendências em relação as metas e objetivos;
- d) prover informações de advertências e antecipar futuras condições e tendências.

Assim, para a tomada de decisões políticas, normalmente são adotados indicadores sociais e econômicos, porém, para monitorar e avaliar as mudanças e seus impactos no ambiente é imprescindível à adoção de indicadores comparativos.

Um indicador econômico, de forma geral, não leva em conta a magnitude dos efeitos ou danos ambientais, assim como indicadores ambientais não refletem de forma precisa os impactos sociais ou econômicos, ou ainda, os indicadores sociais não consideram efeitos ambientais ou econômicos.

Indicadores de sustentabilidade não são indicadores tradicionais de sucesso econômico e qualidade ambiental, pois como a sustentabilidade requer uma visão de mundo mais integrada, os indicadores devem relacionar a economia, o meio ambiente e a sociedade de uma comunidade. “Por isso, paralelamente a discussão do conceito de sustentabilidade, têm-

se procurado metodologias capazes de mensurarem tal desenvolvimento, medindo o nível de desenvolvimento de uma nação e da sustentabilidade de seus sistemas econômicos e ecológicos” (MIKHAILOVA, 2004, p. 30).

Uma primeira tentativa de agregar os dados econômicos e sociais em um indicador de sustentabilidade, ocorreu em 1989, quando Daly e Cobb criaram o Índice de Bem-estar Econômico Sustentável (IBES), o qual procurava desatrelar este índice do crescimento do PIB<sup>7</sup> per capita. A medida de consumo total foi ajustada levando em conta os fatores sociais e ambientais, como mencionado anteriormente, entretanto tais indicadores não conseguiram servir como medida de sustentabilidade. O cálculo implica monetizar uma série de custos ambientais (água, ar, ruído...), assim como o esgotamento de capital natural (renováveis e não-renováveis), e os danos ambientais de longo prazo. Destarte, estes cálculos enfrentam, como era esperado, os usuais problemas técnicos de valoração dos bens e serviços ambientais que não passam por mercados convencionais.

Nos anos 90, predominantemente no que trata da construção de índices de sustentabilidade, a discussão estava focada em encontrar “quais os indicadores econômicos calculados em valores monetários ou naturais, mensurados em unidades físicas, são melhores para medir a sustentabilidade?” (MIKHAILOVA, 2004, p. 31).

Tais discussões estavam embasadas sobre os conceitos da sustentabilidade fraca e forte, e os economistas da sustentabilidade fraca, conforme estudos realizados por D.W. Pearce e G. D. Atkinson indicam que o seu critério de embasamento para o cálculo do índice é de que a economia deve poupar mais capital do que consumi-lo, visto que logo alcançará um alto nível de investimento e conseqüentemente de poupança.

Segundo os economistas da sustentabilidade forte, os índices relativos estão embasados no nível de consumo de recursos naturais, em que índices mais baixos de redução significam mais altos índices de sustentabilidade.

Estudos recentes, no ano de 2000, foram realizados por pesquisadores das universidades de Yale e Columbia, onde foi criado o Índice de Sustentabilidade Ambiental (ESI). Estes não mostram o nível de sustentabilidade de forma direta e concisa, mas permitem, como apresentado no Quadro 1, uma comparação entre diferentes países, a fim de elucidar o nível de aptidão das mesmas para o desenvolvimento sustentável futuro.

---

<sup>7</sup> PIB: Produto Interno Bruto, que indica todos os bens e serviços que foram produzidos por um país em determinado período de tempo.

<i>Indicadores Econômicos</i>		<i>Indicadores Ambientais</i>	
Tradicionais	Sustentáveis	Tradicionais	Sustentáveis
Renda média; Renda per capita em relação aos EUA;	Número de horas trabalhadas em relação a média de salário necessária para as necessidades básicas serem supridas;	Níveis ambientais de poluição do ar, água, geralmente medidos em ppm ou poluentes específicos;	Habilidade do ecossistema de processar e assimilar poluentes;
Taxa de desemprego; Número de empresas;	Elasticidade do mercado de trabalho; Habilidade do mercado de trabalho de ser flexível em tempos de mudanças na economia	Toneladas de resíduos sólidos produzidos;	Quantidade de material reciclado por pessoa, em relação ao total de resíduos sólidos produzidos (uso cíclico das fontes de recursos);
Tamanho da economia medido por índices como PIB.	Maior independência financeira local, possível;	Energia per capita utilizada;	Energia renovável em relação a energia não renovável; Quantidade total de energia usada.

Quadro 1 - Comparativo entre os Indicadores Econômicos e Indicadores Ambientais

Fonte: Adaptado de Mikhailova (2004)

Tem-se então que, dadas as principais funções dos indicadores terem sido atingidas, é notável a sua importância e utilidade no fornecimento de informações sobre em que condição se encontra a sociedade em relação à sustentabilidade e ao desenvolvimento sustentável, colaborando assim com os gestores e tomadores de decisão na programação e implementação de processos e políticas públicas que visem o desenvolvimento sustentável.

Apesar disso, não podemos deixar de esclarecer que os dados devem ser analisados de forma particular, pois as diferentes regiões encontram-se em diferentes estágios de desenvolvimento, possuem distintas características sociais, geográficas e culturais que devem ser levados em conta.

### 3.2 APLICABILIDADE DOS INSTRUMENTOS ECONÔMICOS DE GESTÃO AMBIENTAL NA ATUALIDADE

No intuito de trazer para discussão a aplicabilidade dos instrumentos econômicos, optou-se por fazer um apanhado no que tange à política ambiental.

Os Instrumentos Econômicos de Política Ambiental classificados como Incentivos de Mercado são divididos em duas categorias: Imposto sobre Poluição e Cotas sobre Emissão, os quais foram abordados baseados em Motta (2006).

a) Imposto sobre poluição

O imposto sobre poluição tem como objetivo a correção aproximada de uma imperfeição de mercado, supondo que os custos de recursos esgotáveis empregados na produção de bens e serviços estão distorcidos, uma vez que nem sempre é possível devolver à natureza os recursos exauridos. Sendo assim, tal instrumento foi criado tendo em vista a possibilidade de reduzir o uso exaustivo e irresponsável dos recursos naturais; Motta (2006) indica que “Os pesquisadores afirmam que é fácil mostrar, em termos de análise, que se este imposto for fixado em nível igual ao do valor dos prejuízos decorrentes de uma unidade adicional de emissão, as fontes serão incentivadas a adequar e controlar suas descargas poluidoras. A análise econômica então sugere a necessidade de tributar a poluição para que se corrija esta falha no sistema de mercado competitivo” (MOTTA, 2006, p. 100).

O mecanismo do imposto sobre poluição parte da idéia de que os agentes poluidores devem ressarcir a sociedade pela destruição provocada. Considerando que, se não se evita a poluição, evita-se, pelo menos, que os custos de produção sejam encobertos e a sociedade venha, posteriormente, a pagar por eles.

Concomitantemente, foram elaboradas fontes para financiar novas pesquisas e subsidiar o uso de formas alternativas de produção menos poluentes, até que elas se tornem economicamente viáveis. A vantagem deste mecanismo é fornecer às autoridades ambientais controle direto sobre os níveis de emissões através do acompanhamento dos números de permissões.

b) Cotas de emissão de poluentes

Além da tributação, outro instrumento foi criado pelas autoridades: cotas de emissão de poluentes, ou seja, a emissão de um número limitado de permissões. Assim, cada país, região ou indústria teria uma taxa de emissão pré-determinada, a qual pode ser negociada, ou seja, as fontes estariam livres para comprar ou vender as permissões de emissão. Esse instrumento é uma forma de evitar que as empresas se apropriem dos recursos naturais sem arcarem com os custos dos danos causados ao meio ambiente. Estas cotas são utilizadas atualmente, e conhecidas, por exemplo, como Créditos de Carbono ou Certificados de Emissões por aplicar projetos enquadrados como um dos três Mecanismos de Flexibilização criados pelo Protocolo de Quioto, dentre eles desta-se o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo<sup>8</sup>.

---

<sup>8</sup> Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL): um dos mecanismos criado no Protocolo de Quioto para flexibilizar o cumprimento das metas de redução de GEE, pois permite a participação de Países Não Anexo I na implementação de projetos que reduzam a emissão desses gases.

## 4 PROTOCOLO DE QUIOTO

Na cidade de Quioto, no Japão, no ano de 1997 é assinado o Protocolo de Quioto, um novo componente da Convenção das Partes, que contém, *pela primeira vez*, um acordo que compromete os países do hemisfério norte a reduzirem suas emissões de GEE.

O Protocolo de Quioto, em suma, compromete mais de cinquenta países a reduzir suas emissões dos Gases do Efeito Estufa (GEE), sendo esses em média 5,2% em relação aos níveis de 1990 para o período de vigência do Protocolo (2008-2012).

No entanto, as tratativas para que o Protocolo de Quioto entrasse em vigor, perduraram até 18 de novembro de 2004, quando o Secretário-Geral das Nações Unidas recebeu da Federação Russa o instrumento legal de ratificação do Protocolo de Quioto. Com isto, o Protocolo contava agora com a participação de 55 países industrializados, e iniciou-se a contagem regressiva, de 90 dias, para a entrada em vigor do Protocolo, em fevereiro de 2005. Contudo três nações industrializadas ainda não ratificaram o Protocolo: Liechtenstein, Mônaco e Estados Unidos da América. Os Estados Unidos da América declararam que não planejam fazê-lo, sendo que esse país representa cerca de um terço das emissões de gases de efeito estufa dos países industrializados (UNITED NATIONS, 2004).

A criação do Protocolo de Quioto foi alavancada pelo crescimento na degradação dos recursos ambientais que se observou nas últimas décadas - em especial pelo aumento da emissão dos GEE, que advém, em larga medida, da incapacidade dos sistemas econômicos de garantir e estimular o uso eficiente destes recursos. Os GEE estão associados diretamente ao aumento da temperatura da superfície da Terra, pois estes retêm calor proveniente do sol e que seria devolvido ao espaço, resultando no aquecimento global.

Os principais GEE, gerados pela ação antrópica, descritos no Quadro 2 são: Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), Metano (CH<sub>4</sub>), Óxido Nitroso (N<sub>2</sub>O), Halo Carbonos - bromo, cloro, flúor e iodo, Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>) e Ozônio (O<sub>3</sub>). Cada um destes gases possui seu próprio potencial de aquecimento global, em função da intensidade em que absorvem energia solar e do tempo de permanência na atmosfera (PINHEIRO, 2005). O CO<sub>2</sub> é considerado o gás de efeito estufa mais importante em termos de volume, de forma que todos os outros gases têm seus potenciais de aquecimento global expressos em equivalência. O período usualmente utilizado para fazer as comparações (de equivalência) é de 100 anos.



<b>GEE</b>	<b>Principais Atividades emissoras dos GEE</b>	<b>Potencial de aquecimento global - 100 anos</b>
Dióxido de Carbono – CO <sub>2</sub>	Queima de combustíveis fósseis Queimadas em florestas	1
Metano - CH <sub>4</sub>	Extração, transporte e distribuição de combustíveis fósseis Decomposição de resíduos líquidos e sólidos Produção de animais	23
Óxido Nitroso - N <sub>2</sub> O	Combustão de combustíveis fósseis Atividades agrícolas Processos industriais	296
Ozônio - O <sub>3</sub>	Formado na baixa atmosfera a partir de outros poluentes gerados pela combustão de combustíveis fósseis	-
Halocarbonos	Vazamentos de equipamentos que utilizam CFC's Processos industriais	120 - 12.000
Hexafluoreto de Enxofre - SF <sub>6</sub>	Usado como isolante em equipamentos elétricos Processos industriais	22.200

Quadro 2 - Gases de Efeito Estufa e suas principais atividades emissoras

Fonte: Pinheiro (2005)

Considerando os níveis atuais de emissão desses gases e trazendo uma projeção para o ano de 2050 (IEA,2000), os dados são alarmantes: os níveis de emissão tenderão a duplicar, passarão de 25 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por ano para 50 bilhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente por ano. Esse aumento de emissões e mudanças climáticas associadas traz consigo impactos econômicos, sociais e ambientais em todos os países, porém, de maneira diferenciada nas diversas áreas.

Segundo dados do IPCC (2007), a concentração de dióxido de carbono na atmosfera passou de 280 ppm<sup>9</sup> no período que antecedeu a revolução industrial para 379 ppm em 2005. Tal que a queima de combustíveis fósseis é considerado o grande responsável pelo aumento da emissão de dióxido de carbono na atmosfera, que no ano de 2005 atingiu a marca de 26,4 Gt<sup>10</sup> CO<sub>2</sub>.

Sendo assim, apresenta-se no Quadro 03, através de dados obtidos do IPCC (2001) prognósticos dos impactos causados pela alteração da temperatura da terra em diversas regiões do mundo.

<sup>9</sup> Ppm: partes por milhão por volume. É a relação existente entre o volume de gases de efeito estufa e o volume total de ar seco.

<sup>10</sup> Gt: Giga toneladas.

<u>Região</u>	<u>Prováveis Impactos</u>
África e Ásia	a. Diminuição da produção agrícola b. Diminuição da disponibilidade de água na região do Mediterrâneo e em países do sul c. Aumento dos vetores de diversas doenças d. Aumento da desertificação
Austrália e Nova Zelândia	a. Diminuição da disponibilidade de água b. Extinção de animais e plantas
Europa	a. Desaparecimento de geleiras nos Alpes b. Aumento da produção agrícola em algumas regiões c. Impactos no turismo
América Latina	a. Diminuição da produção agrícola b. Aumento dos vetores de diversas doenças c. Extinção de animais e plantas
América do Norte	a. Aumento da produção agrícola em algumas regiões b. Aumento dos vetores de diversas doenças
Polar	a. Diminuição da calota polar b. Extinção de animais e plantas

Quadro 3 - Resumo de previsões do IPCC para os impactos do aumento da emissão dos GEE em diversas regiões do mundo

Fonte: Adaptado de IPCC (2001 apud ROCHA, 2003)

Diante do cenário mundial atual, em que o aquecimento global se apresenta como uma realidade e este cenário vêm sendo construído pela interferência do homem através do aumento das emissões dos GEE, algumas alternativas foram criadas com vistas a facilitar a implementação de medidas que contribuam para a redução da emissão destes gases. Destaca-se o Protocolo de Quioto que criou mecanismos de flexibilização, no intuito de colaborar com os Países Anexo I a cumprirem suas metas de redução dos GEE, os quais serão tratados a seguir.

#### 4.1 OS MECANISMOS DE FLEXIBILIZAÇÃO

Os mecanismos de flexibilização que constituem instrumentos econômicos, os quais se baseiam no princípio teórico da eficiência, foram divididos em três classes: Implementação conjunta (países do Anexo I), Comércio de Emissões restritas aos países do Anexo I e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo entre os Países Anexo I e não Anexo I.

### - A Implementação Conjunta

Segundo o artigo 6 do Protocolo de Quioto, o mecanismo denominado e criado pelos EUA - de Implementação Conjunta permite a negociação bilateral de implementação de projetos de redução de emissões de GEE entre países integrantes do Anexo I. Através da Implementação conjunta, um país industrializado, pode compensar suas emissões de GEE participando de projetos de redução de emissões em outro país do Anexo I.

### - Comércio de Emissões

O comércio de Emissões tem como intuito a criação da possibilidade de comercialização entre os países do Anexo I do excedente de créditos de carbono que cada país venha a gerar por reduzir além da quota estabelecida os GEE.

## 4.2 MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO

O objetivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo - MDL, como descrito no Guide to the Clean Development Mechanisms (2003) é prestar assistência às Partes Não Anexo I da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima para que possam viabilizar o desenvolvimento sustentável através da implementação de projetos e contribuam para o objetivo final da Convenção.

Concomitantemente, presta assistência aos países do Anexo I para que cumpram seus compromissos quantificados de limitação e redução de emissões de GEE. Um dos requerimentos para que um projeto seja eleito como um MDL é que seja realizado visando o desenvolvimento sustentável. Como dito anteriormente, o MDL possui dois objetivos: “Assistir as partes não incluídas no Anexo I à atingir o desenvolvimento sustentável e mostrar que o desenvolvimento sustentável reduz os riscos tanto ambiental, como social e político do projeto” (AUKLAND; MOURA COSTA; BASS et al., 2002).

O acordo de Marrakesh<sup>11</sup> estabeleceu que a entidade responsável pela avaliação e certificação dos projetos de carbono, deve ser uma organização credenciada pelo Comitê

---

<sup>11</sup> Acordo de Marrakesh : O Acordo de Marrakesh, assinado durante a sétima reunião da Convenção das Partes (COP7), em 2001, define as modalidades e procedimentos dos Mecanismos de Flexibilização previstos no

Executivo e enviar uma aprovação aos solicitantes por escrito, obtida a partir das Autoridades Nacionais designadas. A autoridade nacional designada do país hospedeiro terá a responsabilidade de verificar se o objetivo de artigo 12.2 do Protocolo de Quioto foi atingido, no que tange ao desenvolvimento sustentável.

No Brasil, a autoridade designada é representada pela Comissão Interministerial de Mudanças Climáticas, sendo composta pelos seguintes Ministérios: Ciências e Tecnologia, Relações Exteriores, Meio Ambiente, Minas e Energia, Agricultura e Abastecimento, Transportes, Orçamento e Gestão, Desenvolvimento, Indústria e Comércio, Projetos Especiais e Casa Civil.

#### **4.2.1 Requisitos de Participação**

A participação em atividades de projeto do MDL deve ser voluntária, tendo as Partes que participarem do MDL dever de designar uma autoridade nacional para o mesmo. Contudo um país não incluído no Anexo I pode participar de uma atividade de projeto do MDL se for uma Parte do Protocolo de Quioto.

A atividade do projeto enquadrado como MDL é considerado adicional se reduzir às emissões antrópicas de GEE para níveis inferiores aos que teriam ocorrido na ausência da atividade de projeto do MDL registrada, ou seja, desse modo é passível de obtenção de Créditos de Carbono, desde que siga corretamente todas as exigências para a sua implementação.

#### **4.2.2 Metodologia do Projeto de implementação do MDL**

A linha de base de uma atividade de projeto do MDL é o cenário que representa as emissões antrópicas de gases de efeito estufa por fontes que ocorreriam na ausência da atividade de projeto proposto.

Ao escolher uma metodologia base para uma atividade de projeto, os participantes do projeto devem adotar, entre as seguintes abordagens, a que for considerada mais apropriada

---

Protocolo de Kyoto. O acordo está previsto na Decisão17/CP.7 e foi assim batizado por ter sido assinado na cidade de Marrakesh, no Marrocos.

para a atividade de projeto, levando em conta qualquer orientação do conselho executivo, e justificar a adequação de sua escolha:

- a) as emissões atuais ou históricas existentes, conforme o caso;
- b) as emissões de uma tecnologia que represente um curso economicamente atrativo de ação, levando em conta as barreiras para o investimento;
- c) a média das emissões de atividades de projeto similares realizadas nos cinco anos anteriores, em circunstâncias sociais, econômicas, ambientais e tecnológicas similares, e cujo desempenho esteja entre os primeiros 20 por cento de sua categoria.

Para que um projeto resulte em Reduções Certificadas de Emissões ou Créditos de Carbono, as atividades de projeto devem passar pelas etapas do ciclo do projeto que são: Elaboração, Validação, Aprovação (CIMGC), Submissão, Monitoramento, Verificação/Certificação e Emissão dos Certificados.

#### **4.2.3 MDL na Prática**

Diante da possibilidade de diversos enquadramentos disponíveis para os projetos de MDL, estudos realizados por Santin (2007) indicam que, no caso de países em desenvolvimento, o setor com maior capacidade de obtenção de Créditos de Carbono por implementação de Projetos de MDL é o Setor de Energia.

Justifica-se essa tendência, pois é sabido que a demanda mundial de energia para o ano de 2030 tem estimativa de dobrar, de acordo com o International Energy Agency (IEA, 2000). Grande parte desse aumento na demanda é oriunda de países em desenvolvimento, também conhecidos como Não Anexo I, os quais acabam elevando também a emissão de CO<sub>2</sub>, os quais devem atingir o patamar de emissões de 40 Mt CO<sub>2</sub> naquele ano.

As emissões em países em vias de desenvolvimento representavam, no início do Século XX, 39% das emissões globais, mas para o ano de 2010, a projeção é que sua contribuição seja elevada para o patamar de mais de 50%.

De forma geral, quando se trata de projetos de MDL, o relatório do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2006) indica que os países que aparecem com as mais altas potencialidades em projetos são China, Índia e Brasil; visto que esses países aparecem com o maior número de iniciativas registradas em âmbito mundial.

Contudo, o Brasil, por possuir uma matriz elétrica “limpa”, como destacado na Figura 1, é composta principalmente por Hidroelétricas, produzem uma taxa de emissão de GEE inferiores à geração térmica baseada em combustíveis fósseis, acabam por ter desvantagens em relação aos outros dois países. Isso tudo porque os projetos de geração de energia limpa são os que apresentam os melhores ganhos no sentido de obtenção de reduções de GEE com geração de créditos de carbono.

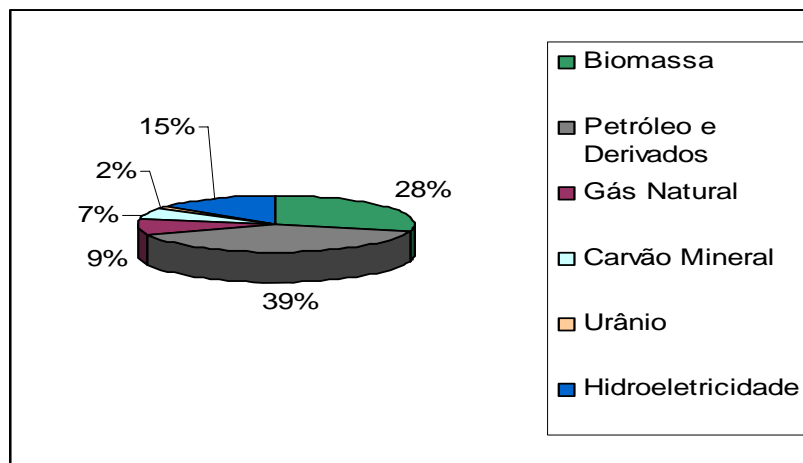


Figura 1 - Matriz Energética Brasileira, 2006

Fonte MCT (2006)

Destarte, no que tange os projetos de MDL, que tem intrínsecos a sua criação a preocupação com a questão ambiental, é importante salientar a existência do Relatório Stern, publicado em outubro de 2006. Esse relatório foi encomendado pelo governo Britânico, com o objetivo de tentar medir o impacto do aquecimento global na economia mundial e estimar os prejuízos decorrentes do chamado efeito estufa.

Nele, Stern discorre sobre os prejuízos econômicos no mundo com o aquecimento global, que chegam à cifra dos sete trilhões de dólares, representando 20% do PIB mundial<sup>12</sup>. Ainda neste relatório, conta que os custos de implementação de medidas mitigatórias são muito inferiores representando, comparativamente, apenas 1% do PIB Mundial (STERN, 2006).

<sup>12</sup> O percentual estimado de 20% do PIB mundial foi estimado para 50 anos, onde Stern inclui estimativas do impacto sobre a vida dos mais pobres, sobre os gastos com saúde pública etc.

### 4.3 O MERCADO DE CRÉDITOS DE CARBONO

O mercado de carbono funciona sob as regras do Protocolo de Quioto, o qual destina uma parte para elencar os mecanismos que o compõem para sua prática e funcionamento. Como descrito anteriormente, os mecanismos são a Implementação Conjunta, o Comércio de Emissões restritas aos países do Anexo I e o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo.

Este mercado funciona através da comercialização de certificados de emissões, também conhecidos como os créditos de carbono, que são obtidos por reduzirem emissões de GEE. Os Créditos de Carbono são comercializados em mercados como da bolsa de valores, fundos de investimentos, em que os países têm o compromisso (através da assinatura do Protocolo de Quioto) com a redução da emissão destes gases, possam comprar os créditos gerados por algum dos mecanismos de flexibilização em diferentes partes do mundo.

O processo de geração de Créditos de Carbono, se dá a partir da implementação de processos que, com a adoção de novas tecnologias ou redesenhos da produção, consigam reduzir as emissões destes á proporções menores que as geradas sem a utilização das mesmas. Destarte, esta atividade acaba por gerar créditos, Créditos de Carbono, os quais podem ser comercializados.

A quantificação do carbono e outros gases economizados ou seqüestrados, conforme Clean Development Mechanisms (CDM, 2003) é realizada por empresas técnicas especializadas de acordo com determinações da ONU, sendo que cada Crédito de Carbono equivale a uma tonelada de CO<sub>2</sub> equivalente não emitido. Essa medida internacional foi criada com o objetivo de comparar e normalizar o potencial de aquecimento global<sup>13</sup> de cada um dos seis GEE.

Analisando o mercado de comercialização de Créditos de Carbono, o relatório do Banco Mundial (2008) indica que o mercado internacional de carbono cresceu mais de 100% em 2007, comparando com o ano de 2006. Segundo o estudo, no ano de 2007, foram negociados US\$ 64 bilhões, o equivalente a mais de R\$ 108 bilhões.

---

<sup>13</sup> GWP - Global Warming Potencial.

O volume de transações dos MDL apresentou uma leve subida, passando de 537 milhões de toneladas de dióxido de carbono equivalente ( $\text{Mt}^{14}\text{CO}_2\text{e}$ ) em 2006, para 551  $\text{MtCO}_2\text{e}$  em 2007.

No entanto, estes resultados se apresentam de forma modesta, frente à necessidade de uma grande redução na Emissão dos Gases de Efeito Estufa, mas não de menor importância, já que o Protocolo de Quioto é uma ferramenta com o intuito de envolver todas as nações na busca por uma melhor qualidade do meio ambiente em que vivemos e a preservação dos recursos naturais ainda existentes.

#### 4.4 CARACTERIZAÇÃO DOS PROJETOS DE MDL NO BRASIL

Atualmente, segundo dados emitidos pelo Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT) em 29 de julho de 2008, um total de 3.562 projetos encontravam-se em alguma das fases do ciclo de projetos do MDL, sendo 1.092 já registrados pelo Conselho Executivo do MDL, e 2.470 em outras fases do ciclo. O Brasil ocupa o 3º lugar em número de atividades de projeto, com 295 projetos (8%), sendo que em primeiro lugar encontra-se a China com 1.244 e, em segundo, a Índia com 1016 projetos. A maior parte dos projetos desenvolvidos no Brasil está na geração de energia renovável (49%), suinocultura (16%) e aterros sanitários (11%).

No Brasil, como pode ser observado na Figura 2, o Estado brasileiro que mais contribuiu com projetos de MDL é São Paulo, correspondendo a 21% do total dos mesmos, seguido por Minas Gerais e Rio Grande do Sul. Logo após a Figura 3 identifica para o Brasil, qual a tipologia dos projetos de MDL vem sendo apresentados ao MCT.

---

<sup>14</sup> Mt: milhões de toneladas.



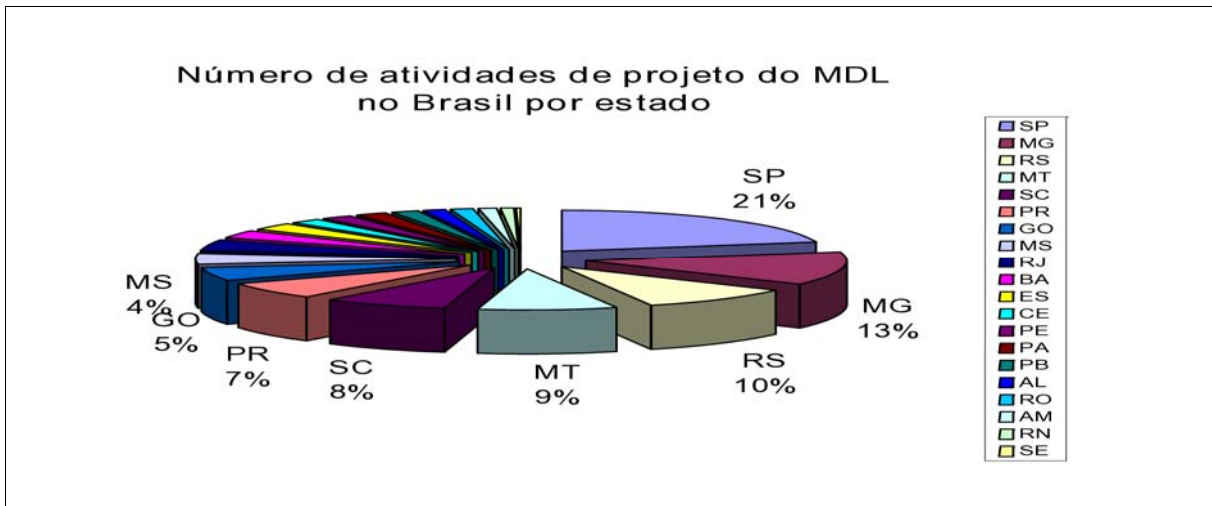


Figura 2 - Número de atividades de projeto no Brasil - Total de 295 projetos

Fonte: MCT - versão: 29/07/08

- Tipologia de projetos: projetos de MDL no Brasil

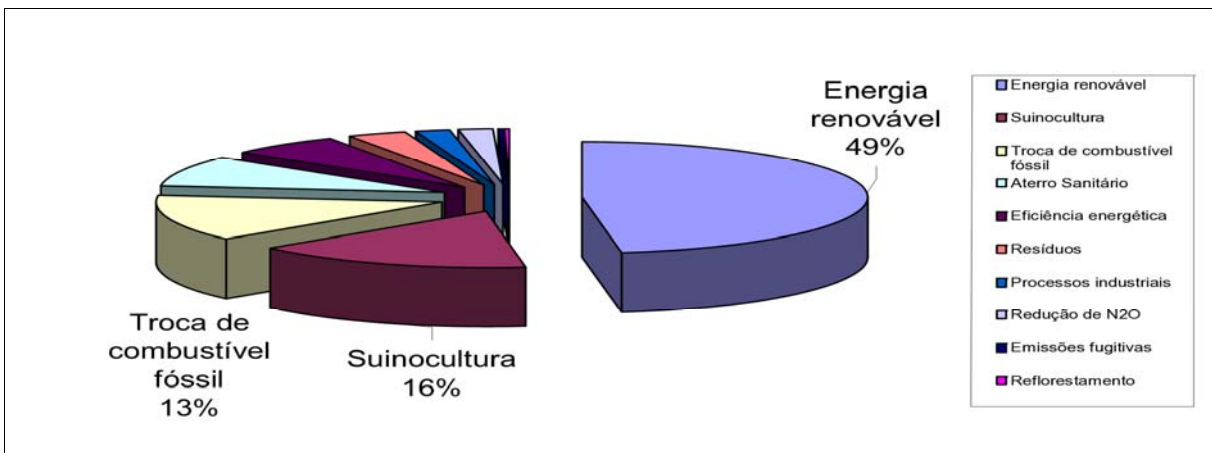


Figura 3 - Número de projetos brasileiros por escopo setorial - Total de 295 projetos

Fonte: MCT (versão: 29/07/08)

Observa-se que os projetos que tratam da questão energética estão contempladas de diversas formas, na maioria dos itens que foram identificados como os mais promissores para a realização de Projetos de MDL.

Diante do cenário brasileiro e mundial de Projetos de MDL e dos dados divulgados pelo MCT, alguns projetos foram considerados mais oportunos, como o aproveitamento de resíduos sólidos e de biogás residual, a co-geração por biomassa, a energia eólica, a energia solar, os programas de eficiência energética e o biodiesel.

A implementação de políticas energéticas que priorizem a elevação da eficiência energética e fontes alternativas de geração de energia, com menores danos ao meio ambiente já é uma realidade, segundo dados do MCT (2008). Essas políticas podem ser vislumbradas principalmente nos países em desenvolvimento que utilizam tecnologias intensivas em Carbono, já que suas matrizes energéticas são compostas por 80% de combustíveis fósseis, maiores emissores de CO<sub>2</sub> quando sofrem combustão.

Pesquisas recentes (IPCC, 2008) reforçam e apontam a importância de práticas que obtenham esta maior Eficiência Energética, reduzindo as emissões de GEE concomitantemente com a redução do desperdício de energia, que, por conseguinte, têm demonstrado o quanto as políticas ambientais estão priorizando esta atividade.

De forma conjunta a esta preocupação, alia-se o aumento da demanda mundial de energia. Cenários foram construídos para o ano de 2030 pelo International Energy Agency (2000), no que tange a demanda por energia, indicando que esta vai dobrar, passando de 9 milhões toe<sup>15</sup> no ano 2000 para 18 milhões de toe no ano de 2030.

Fatores como o crescimento populacional dos países em desenvolvimento, e uma taxa média de crescimento econômico crescente, contribuirão para este aumento da demanda de energia, o que traz consigo a ameaça à segurança no suprimento energético mundial. De forma análoga, não se pode deixar de advertir que também este aumento previsto no consumo de energia que é composta basicamente por combustíveis fósseis, gerará ainda mais GEE, contribuindo para a elevação da temperatura da terra.

Sendo assim, formas alternativas de geração de energia vêm sendo estudadas, e dentre elas algumas vêm ganhando destaque no cenário mundial, e dentre elas o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, pois esta atividade contribui para a redução de emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, bem como, no caso do armazenamento em amadas de carvão, a geração de energia mais limpa.

#### 4.5 NOVAS TECNOLOGIAS PARA A REDUÇÃO DE GEE

Além das formas mais conhecidas e mencionadas até o presente momento para a redução das emissões de GEE, estando incluídos projetos de Mecanismos de

---

<sup>15</sup> Toe (Toneladas de Óleo Equivalente) se refere a mesma quantidade de energia produzida por gás natural, carvão, energia nuclear e outras energias renováveis.

Desenvolvimento Limpo, uma nova alternativa se apresenta para a captura e armazenamento do CO<sub>2</sub>, principal gás causador do efeito estufa. Tal tecnologia refere-se ao sequestro geológico de carbono.

O armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, segundo relatório do Carbon Dioxide Capture and Storage (n.d.) consiste na captura de CO<sub>2</sub> de fontes estacionárias (indústrias, termelétricas, etc.) e seu transporte e injeção em formações geológicas. Os possíveis locais de armazenamento deste gás são: aquíferos salinos profundos, reservatórios de óleo e gás, e em camadas de carvão. Quando do armazenamento em carvão, permite a extração de metano naturalmente associado ao carvão como sub-produto do processo, conhecido como ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub>). Assim sendo, o armazenamento geológico está baseado no princípio de devolver o carbono para o subsolo, isto é, retornar o excesso de carbono (na forma de CO<sub>2</sub>) emitido pela queima de combustíveis fósseis para reservatórios geológicos, ficando este retido nos espaços porosos de rochas sedimentares.

Vislumbrando a possibilidade da realização de ECBM-CO<sub>2</sub> no Brasil, estudos indicam o Rio Grande do Sul com possibilidade de desenvolver um projeto dessa magnitude, como por exemplo, na Jazida de Charqueadas, pois apresenta as características, em princípio, necessárias a sua realização como descrito em Correa da Silva (1984).

Deve ser destacado também que um outro fator primordial para a execução do armazenamento geológico, é a proximidade da fonte estacionária fornecedora do CO<sub>2</sub> a ser injetado. De acordo com Ketzer (2007) o Pólo Petroquímico de Triunfo é um potencial candidato neste sentido, primeiro por poder fornecer o CO<sub>2</sub> ao processo, e segundo por utilizar como combustível o gás natural advindo da Bolívia, o qual pode vir ser fornecido pelo processo de ECBM-CO<sub>2</sub>.

## **5 ASPECTOS IMPORTANTES A SEREM CONSIDERADOS SOBRE O PROTOCOLO DE QUIOTO - PÓS 2012**

Como descrito em May, Lustosa e Vinha (2003), o Protocolo de Quioto envolve a maioria das nações desenvolvidas que ratificaram o mesmo, as quais tem o compromisso de reduzir suas emissões de GEE em torno de 5,2% dos emitidos no ano de 1990.

No entanto, o prazo de vigência do Protocolo está se extinguindo (2008-2012) e as autoridades responsáveis por trabalhar em sua renovação estão em plena negociação. O

complexo jogo político de negociações não avança muito, motivo pelo qual o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) alerta os governos e a sociedade sobre os impactos das alterações climáticas, as quais são irreversíveis, demonstrando, assim, que os governos e governantes de modo geral, devem tomar medidas concretas imediatamente.

Analisando os reais efeitos da implementação das atividades propostas no Protocolo de Quioto, projeções da ONU (2008) indicam que as nações ainda não cumprem o que foi acordado. Apesar disso, em Bali - Conferência das Partes 13, os países europeus insistiram na necessidade de reduzir as emissões entre 25% e 40% até 2020.

Também foi enfatizada a importância da cooperação tecnológica entre países desenvolvidos e em desenvolvimento, de modo que os últimos possam crescer sem que isso implique em degradação ambiental. Dos países em desenvolvimento, uma das principais novidades foi a criação de um “fundo de adaptação”, que será gerido pelo Global Environment Facility (GEF). Dado que os recursos para esses projetos serão obtidos por meio da cobrança de taxas nas transações do mercado de Crédito de Carbono, pois é de fundamental importância o investimento em estudos de novas tecnologias que venham a ser implementadas e que contribuam para a redução e mitigação dos gases causadores do efeito estufa.

De acordo com os autores do Relatório do Banco Mundial, as tecnologias atualmente existentes, são capazes de reduzir a emissão de GEE em torno de, no máximo, 30% dos níveis atuais, não sendo, portanto capaz de atender a demanda no que trata das soluções para os problemas ambientais latentes.

Dentre todos esses assuntos tratados na Conferência das Partes 13, realizada em Bali, o que encerra a discussão é o fato de ter sido estabelecido o ano de 2009 como prazo final do processo de negociação que vem a definir o quadro pós-2012 do Protocolo de Quioto.

De forma a esclarecer com vem sendo tratada a renovação do Protocolo de Quioto, elencou-se os princípios políticos que nortearão, conforme definido em Bali no Relatório da COP 13, as negociações da nova rodada para o período Pós 2012, descritas como segue:

- a) o acordo pós-2012 deve ser construído e estendido com base na arquitetura existente no Protocolo de Quioto de reduções absolutas de emissão e mecanismos de flexibilização.;
- b) os países desenvolvidos devem ser objeto de maiores reduções de emissões. Novos países desenvolvidos como a Coreia do Sul, Singapura e Arábia Saudita devem juntar-se ao grupo dos países desenvolvidos atualmente abrangidos por metas;

- c) os países em desenvolvimento deverão reduzir as suas emissões comparado com um cenário sem esforço, através de novas e efetivas formas de cooperação e implementação tecnológicas;
- d) os países mais pobres e vulneráveis devem ser auxiliados, no processo já inevitável, de adaptação à mudança climática.

Dessa maneira, observa-se que a continuidade do Protocolo de Quioto é eminente, sendo para tanto imprescindível ajustes, visto que o objetivo não é somente sua prorrogação, mas a adesão e comprometimento de um número maior de países, bem como a elevação de suas taxas de redução de emissão de GEE.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

O presente artigo buscou reunir em um documento uma revisão histórica do tema que versa sobre o desenvolvimento sustentável e as questões que envolvem o meio ambiente como um todo até a criação do Protocolo de Quioto, pois este se apresentou como um marco histórico no combate ao aquecimento global.

Sendo assim, constatasse que, apesar do tema envolvendo as questões ambientais estar sendo amplamente discutido desde a década de 60, somente ganhou dimensões mundiais com a implementação do Protocolo de Quioto, devido à adesão de mais de 50 países considerados desenvolvidos. Tais países estão comprometidos com a sua redução nas emissões de gases de efeito estufa, tendo como contrapartida a possibilidade de obtenção de créditos de carbono por estas reduções, que criou um mercado para tais transações, o mercado de créditos de carbono.

O mercado de Créditos de Carbono, no ano de 2008 foi responsável pela movimentação de mais de setenta bilhões de dólares no mercado mundial, o que sinalizou que esta é uma atividade bastante promissora e economicamente rentável, trazendo consigo incentivos a novos investidos nesta área.

Dessa forma, tornou-se evidente que as dimensões mundiais do Protocolo de Quioto tomaram esta proporção, em razão da criação do Mercado de Créditos de Carbono, o que gerou conseqüentemente, maior interesse financeiro. Com isso, é possível a implantação de atividades que reduzam as emissões dos GEE, capazes de garantir aos países signatários, o cumprimento de suas metas, implementando tecnologias menos poluentes.

Diante deste mercado de Créditos de Carbono, negociados via Protocolo de Quioto, buscou-se identificar a realidade brasileira na inserção deste. O Brasil em relação ao cenário mundial vem ocupando o terceiro lugar no envio de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo (MDL), sendo responsável por mais de 290 projetos, dos quais 60 já obtiveram Créditos de Carbono.

No entanto, o cenário brasileiro na participação da implantação dos mecanismos de desenvolvimento limpo vem perdendo força devido a enorme burocracia e altos custos de execução de um MDL, o que demonstra a redução de oportunidades para modernização de seus parques industriais, via Protocolo de Quioto, o qual contempla de forma conjunta, a permutação tecnológica entre os países membros.

Contudo, não podemos deixar de ter claro que as tecnologias existentes atualmente não são capazes de atender as exigências do meio ambiente, no que trata da mitigação de GEE. Para tanto as decisões a serem tomadas devem contemplar também o investimento em novas tecnologias, capazes de reduzir as emissões dos GEE, os quais para tanto já contam com o apoio de instituições internacionais, como a ONU que criou o Global Environment Fund (GEF).

Nesse ínterim, e com vistas ao desenvolvimento sustentável, destaca-se que novas tecnologias estão sendo estudadas a fim de contribuir com a redução das emissões de GEE, dentre elas o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, que vem ganhando destaque no cenário mundial, principalmente pela sua capacidade de devolver uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> ao subsolo.

Tais tratativas demonstram que existe uma preocupação não somente com as questões ambientais, mas também com o *desenvolvimento* de forma sustentável. Cabe ressaltar que essas práticas são capazes de gerar concomitantemente benefícios sociais e ambientais, pois permitem que recursos naturais sejam utilizados de forma mais eficiente, em que a tecnologia vem a somar nesse novo processo produtivo, acarretando na geração de novos empregos diretos e indiretos, além da modernização tecnológica nos locais de sua execução.

Buscando um panorama futuro, realizou-se uma breve explanação sobre as tratativas após o término da primeira fase do Protocolo de Quioto (2008-2012), no intuito de não deixá-lo cair no esquecimento, mas, pelo contrario, elencar que incansáveis e desmedidos esforços devem ser despendidos para que sua continuidade seja garantida frente ao seu caráter imperativo no combate ao aquecimento global.

## REFERÊNCIAS

ALIER, Joan Martinez. **Da Economia Ecológica ao Ecologismo Popular**. Blumenau: FURB, 1998.

ALMEIDA, Josimar Ribeiro; MELLO, Claudia dos S.; CAVALCANTI, Yara. **Gestão Ambiental**. São Paulo: Thex, 1996.

ALMEIDA, Luciana Togueiro de. **Política Ambiental**: uma análise Econômica. São Paulo: Unesp, 1998.

AUKLAND, L.; MOURA COSTA, P.; BASS, S. et al. **Criando as bases para o desenvolvimento limpo - preparação do setor de gestão de uso da terra**: um guia rápido para o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL). Londres: IIED, 2002. 40 p.

AYERS Jr., W. B.; KAISER, W. R.; LEVINE, J. R. **Coal as Source Rock and Gas Reservoir**: Birmingham, Alabama, 1993 Coal bed Methane Symposium, Short Course 1, 257 p., 1993.

BANCO MUNDIAL. **Carbon credits report**. 2008. Disponível em: <[http://www.bancomundial.org.ar/lfg/default\\_po.htm](http://www.bancomundial.org.ar/lfg/default_po.htm)> Acesso em: maio 2008.

\_\_\_\_\_. **State and Trends of the Carbon Market 2008**. Disponível em: <<http://siteresources.worldbank.org/NEWS/Resources/State&Trendsformatted06May10pm.pdf>>. Acesso em: ago. 2008.

BELLEN, Hans. **Indicadores de Sustentabilidade**: uma análise comparative. Rio de Janeiro: FGV, 2007.

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

BOSSEL, H. **Indicators for sustainable development**: theory, method, applications. Manitoba: International Institute for Sustainable Development - IISD, 1999

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 mar. /2008.

COBB, C.; GOODMAN, G. S.; WACKERNAGEL, M. **Why Bigger isn't Better: the genuine progress indicator - 1999 update**. San Francisco, CA: Redefining Progress, 1999.

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

DALY, H. E.; COBB JR., J. B. **Para el bien comun: reorientando la economia hacia la comunidad, el ambiente y un futuro sostenible**. México, DF: Fondo de Cultura Económica, 1989.

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**. Rio de Janeiro: UFRJ, 1998.

FERREIRA, L.C. **A Questão Ambiental: sustentabilidade e políticas públicas no Brasil**. São Paulo: 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](http://www.fe.doe.gov/coal_power/gasification/index.shtml)>. Acesso em: 31 mar. 2008.

HARDI, P.; ZDAN, T. J. **The Dashboard of Sustainability**. Draft paper, Winnipeg: IISD, 2000.

HARTE, M. J. Ecology, Sustainability and environment as capital. **Ecological Economics**, n. 15, 1995, p. 157-164.

IEA - INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS. **Carvão, Gaseificação, IGCC**. Disponível em: <<http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/carvao.php>>. Acesso em: 31 mar. 2008.



IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Greenhouse Gas R&D Programme. **Geologic Storage of Carbon Dioxide: Staying Safely Underground**. January, 2008. Disponível em: <<http://www.ieagreen.org.uk/glossies/geostoragesfty.pdf>>. Acesso em: out. 2008.

\_\_\_\_\_. Greenhouse Gas R&D Programme. **Natural Releases of CO<sub>2</sub>**. Disponível em: <<http://www.ieagreen.org.uk/glossies/naturalreleases.pdf>>. Acesso em: out. 2008.

\_\_\_\_\_. Greenhouse Gas R&D Programme. **A Review of Natural CO<sub>2</sub> Occurrences and Releases and the Relevance to CO<sub>2</sub> Storage**. Report Number 2005/8, September (2005). Disponível em: <<http://www.co2storage.org/Reports/Natural%20Releases%20Report.pdf>>. Acesso em: out. 2008.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Greenhouse Gas R&D Programme. **Storing CO<sub>2</sub> Underground**. 2000.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. SPECIAL REPORT. **Carbon Dioxide Capture and Storage**. Disponível em: <[http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages\\_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbondioxideCaptureandStorage.htm](http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbondioxideCaptureandStorage.htm)>. Acesso em: set. 2008.

IPCC - INTERNATIONAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Guidelines for national greenhouse gases inventories**. Paris, France: 1997.

KETZER, J. M.; CARPENTIER, B.; GALLO, Y. L.; THIEZ, P. L. Geological Sequestration of CO<sub>2</sub> in Mature Hydrocarbon Fields Basin and Reservoir Numerical Modelling of the Forties Field, North Sea. **Oil & Gas Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 259-273, 2005.

KETZER, João Marcelo; VILLWOCK, Jorge Alberto; CAPORALE, Giancarlo et al. **Opportunities for CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage in Brazil: The CARBMAP Project** May 7-10, Pittsburgh, Pennsylvania: Sheraton Station Square, 2007.

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.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Mudanças climáticas**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: out. 2008.

\_\_\_\_\_. Disponível em: <[http://www.mct.gov.br/upd\\_blob/0025/25139.pdf](http://www.mct.gov.br/upd_blob/0025/25139.pdf)>. Acesso em: ago. 2008.

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. **Instrumentos econômicos para o controle ambiental do ar e da água**: uma resenha da experiência internacional. Rio de Janeiro: IPEA, 1997. Texto para discussão nº 479.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, 2004.

MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Economia Ambiental**. Rio de Janeiro: 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: IBAMA, 2002.

PEARCE, D. W.; 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, dez. 2005.

PROTOCOLO DE QUIOTO. Disponível em: <<http://www.onu-brasil.org.br>>. Acesso em: 02 abr. 2008.

RELATÓRIO de Brundtland, 1987. Disponível em: <<http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>>. Acesso em: maio 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: abr. 2008.

ROMEIRO, Ademar Ribeiro. **Economia ou economia política da sustentabilidade?** Campinas, IE/UNICAMP, n. 102, set. 2001. Texto para Discussão.

\_\_\_\_\_. Desenvolvimento Sustentado e Agricultura. In: MAIMON, D.; VIEIRA, P. (Orgs.). **As Ciências Sociais e a Questão Ambiental**: rumo à inter-disciplinaridade. APED - Associação de Pesquisa em Ecologia e Desenvolvimento e Ed. Universidade Federal do Pará, 1993.

RUTHEFORD, I. Use of models to link indicators of Sustainable Development. In: MOLDAN, B. BILHARZ, S. (eds.) **Sustainability indicators: report of the project on indicators of sustainable development**. Chichester: John Wiley & Sons, 1997.

SACHS, I. **Eco desenvolvimento: crescer sem destruir**. São Paulo: Vértice, 1986.

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. **Caracterização petrológica e tecnológica das camadas de carvão da jazida de Charqueadas do Rio Grande do Sul**. Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. 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](http://www.achegas.net/numero/vinteeseis?ana_sousa_26.htm)>. Acesso em: 13 mar. 2008.

STERN, Nicholas. **The economics of climate change – Report Stern**. Out. 2006. Disponível em: <http://www.bcsdportugal.org/content/index.php?action=articlesDetailFo&rec=521>. Acesso em: set. 2008.

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

UNITED NATIONS. 2004. Disponível em: <<http://www.state.gov/p/io/rls/rpt/c11937.htm>>. Acesso em: jun. 2008.

\_\_\_\_\_. **Framework Convention on Climate Change**. New York, 1992. Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)>. Acesso em: 20 ago. 2008.

## **ANEXOS**

ANEXO A - Os países que assinaram o Protocolo de Quioto são denominados de Países do Anexo I:

TABELA PAÍSES ANEXO I

<b>Parte</b>	<b>Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões (porcentagem do ano base ou período)</b>
Alemanha	92
Austrália	108
Áustria	92
Bélgica	92
Bulgária*	92
Canadá	94
Comunidade Européia	92
Croácia*	95
Dinamarca	92
Eslováquia*	92
Eslovênia*	92
Espanha	92
Estados Unidos da América	93
Estônia*	92
Federação Russa*	100
Finlândia	92
França	92
Grécia	92
Hungria*	94
Irlanda	92
Islândia	110
Itália	92
Japão	94
Letônia*	92
Liechtenstein	92
Lituânia*	92
Luxemburgo	92
Mônaco	92
Noruega	101
Nova Zelândia	100
Países Baixos	92

continua...

<b>Parte</b>	<b>Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões (porcentagem do ano base ou período)</b>
Polônia*	94
Portugal	92
Reino Unido da Grã-Bretanha e Irlanda do Norte	92
República Tcheca*	92
Romênia*	92
Suécia	92
Suíça	92
Ucrânia*	100

\*Países em processo de transição para uma economia de mercado.

Fonte: MCT (Artigo 28 do Protocolo de Quioto)

ANEXO B - Compromisso de redução ou limitação quantificada de emissões  
(porcentagem do ano base ou período)

Alemanha	92
Austrália	108
Áustria	92
Bélgica	92
Bulgária*	92
Canadá	94
Comunidade Européia	92
Croácia*	95
Dinamarca	92
Eslováquia*	92
Eslovênia*	92
Espanha	92
Estados Unidos da América	93
Estônia*	92
Federação Russa*	100
Finlândia	92
França	92
Grécia	92
Hungria*	94
Irlanda	92
Islândia	110
Itália	92
Japão	94
Letônia*	92
Liechtenstein	92
Lituânia*	92
Luxemburgo	92
Mônaco	92
Noruega	101
Nova Zelândia	100
Países Baixos	92
Polônia*	94
Portugal	92
Reino Unido da Grã -Bretanha e Irlanda do Norte	92
República Tcheca*	92
Romênia*	92
Suécia	92
Suíça	92
Ucrânia*	100

\* Países em processo de transição para uma economia de mercado

Fonte: Rocha (2003)

**ARTIGO 2 - NOVAS TECNOLOGIAS PARA O DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL:  
O ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> EM CAMADAS DE  
CARVÃO E A GERAÇÃO DE ENERGIA LIMPA**

**RESUMO**

O presente artigo tem por objetivo trazer para a discussão a inclusão de novas tecnologias aos mecanismos de desenvolvimento limpo do Protocolo de Quioto, com vista a contribuir para a redução de emissões de gases de efeito estufa. Dessa forma, propôs-se o estudo no que trata do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em camadas de carvão, que possibilita concomitantemente com esta, a produção de gás natural. Primeiramente, o trabalho se propõe a explicitar seus diversos locais potenciais de armazenamento e, um maior detalhamento do que vem a ser o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em jazidas de carvão - ECBM-CO<sub>2</sub>, e elencado posteriormente uma metodologia à elaboração do modelo de viabilidade econômico-financeiro.

**Palavras-chave:** Novas tecnologias. Desenvolvimento sustentável. Armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>. Modelo de viabilidade econômica.

**ABSTRACT**

The present paper has as its objective to discuss the inclusion of new technologies to the mechanisms of the clean development of the Protocol of Kyoto with the intent to contribute in the reduction of the emission of gases due to the greenhouse effect. A study is proposed when it comes to the geological storage of CO<sub>2</sub> in layers of coal that concomitantly makes possible the production of natural gas. The work has as a purpose to explicit its several potential locations for storage and a greater specification on what is a geological storage of CO<sub>2</sub> in a deposit of coal – ECBM- CO<sub>2</sub>, casting an alternative to the elaboration of a feasible economic/financial model.

**Keywords:** New technologies. Sustainable development. Geological storage of CO<sub>2</sub>. Feasible economic model.



## 1 INTRODUÇÃO

Diante do atual cenário mundial, que sinaliza a urgência na utilização de novas tecnologias capazes de reduzir emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE)<sup>16</sup>, com vistas ao Desenvolvimento Sustentável, observa-se com isso o fortalecimento do processo de mudança no uso dos recursos naturais, na orientação dos investimentos, nas decisões de ordem política e na reformulação das instituições públicas.

A preocupação com a redução de emissões de GEE ocorre porque estes são considerados os principais causadores do aquecimento global e, portanto gerarem externalidades negativas que vem a comprometer a disponibilidade dos recursos naturais e o equilíbrio de todo o eco-sistema. A exemplo disso existe uma série de estudos do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC) que descrevem a importância de buscar novas tecnologias que diminuam as emissões de GEE, dentre eles o CO<sub>2</sub><sup>17</sup>, considerado um dos principais causadores do efeito estufa.

Dentre esses estudos, no ano de 2005, o IPCC emitiu relatório intitulado: Dióxido de Carbono - Captura e Armazenamento, apresentando o processo de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> como uma das novas tecnologias com maior potencial de redução de emissões sendo portanto, uma forma alternativa para reduzir o efeito sobre as variações na temperatura da Terra.

O processo de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> pode ser realizado em reservatórios de gás e óleo, aquíferos salinos profundos e em camadas de carvão. Dessa forma, propõe-se a realização de estudo que identifique as potencialidades de implementação de projeto ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced Coal Bed Methane with CO<sub>2</sub>) no estado do Rio Grande do Sul, identificando no Estado, os locais com maior potencialidade para o mesmo.

Em meio às alternativas apresentadas para o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, foi selecionado o armazenamento em camadas de carvão, processo esse denominado de Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub> (ECBM-CO<sub>2</sub>), visto que permite durante seu ciclo a produção de gás natural (CH<sub>4</sub>), contribuindo dessa forma para a redução de emissões de CO<sub>2</sub>, bem como na geração de energia mais limpa.

---

<sup>16</sup> GEE: eles são compostos por dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), o metano (CH<sub>4</sub>), óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), os halo carbonos - bromo, cloro, flúor e iodo, o hexafluoreto de enxofre (SF<sub>6</sub>) e o ozônio (O<sub>3</sub>).

<sup>17</sup> CO<sub>2</sub>: um dos gases de efeito estufa.

Essa prática ainda não está contemplada no Protocolo de Quioto como um mecanismo de desenvolvimento limpo, portanto não é passível de obtenção de Créditos de Carbono, pelo menos não nesse seu primeiro período de vigência (2008-2012). Apesar de não ser contemplado como um Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) tem sido pauta de discussões nas últimas reuniões da Conferência das Partes da Organização das Nações Unidas (COP), o que indica um cenário positivo a esta nova tecnologia.

Vislumbrando-se a necessidade cada vez mais intensa de alternativas tecnológicas que reduzam as emissões de GEE em um prazo de tempo cada vez mais curto, o armazenamento geológico aparece como alternativa, como destacado anteriormente, com grande capacidade de seqüestro de CO<sub>2</sub><sup>18</sup>, acreditando-se inclusive que esta venha a ser contemplada em futuras versões ou reavaliações, no Protocolo de Quioto, e conseqüentemente venha a ser passível de obtenção de Créditos de Carbono.

## **2 O PROTOCOLO DE QUIOTO E A PERSPECTIVA DE INCLUSÃO DE NOVAS TECNOLOGIAS**

O Protocolo de Quioto está em pleno exercício de suas atribuições, as quais consistem prioritariamente na redução das emissões de GEE em 5,2% em relação aos níveis emitidos no ano de 1990 pelos países que o assinaram, os quais estão relacionados no Anexo I, Para tanto, esses países tendo como primeiro prazo para o cumprimento das metas o período de 2008-2012. Contudo, já está sendo discutido na Conferência das Partes (COP)<sup>19</sup> a prorrogação por mais 4 anos do Protocolo de Quioto, e com metas de emissões passando por reavaliações, no intuito de serem elevadas gradativamente até o ano de 2050 para 50% das emissões no ano de 1990.

Para atender estes propósitos, a COP conta com a colaboração não somente dos países do Anexo I (que tem a obrigatoriedade de redução de emissões), mas dos países Não Anexo I (países em desenvolvimento que não têm a obrigatoriedade de redução), que atualmente são

---

<sup>18</sup> A capacidade estimada, a nível mundial dos reservatórios para jazidas de carvão é de 10 a 100 bilhões de toneladas de Carbono

<sup>19</sup> A Conferência das Partes é o evento anual da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima durante o qual se tomam decisões ministeriais sobre procedimentos a serem adotados pelos países partes da Convenção e do Protocolo de Quioto.

os maiores implementadores de MDL, sendo responsáveis pela redução de emissões de mais de 500 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> até o mês de junho de 2008.

Da implantação de projetos de Mecanismos de Desenvolvimento Limpo, obtêm-se a Certificação de Redução de Emissões - Créditos de Carbono. O processo de geração de Créditos de Carbono se dá a partir da implementação de processos que adotam novas tecnologias ou redesenhos da produção, a fim de reduzir as emissões dos gases de efeito estufa a proporções menores que as geradas sem a sua utilização. Sendo assim, esta atividade acaba por gerar Créditos de Carbono que podem ser comercializados.

A regulamentação do mercado de carbono funciona sob *a judice* do Protocolo de Quioto e funciona através da comercialização de certificados de emissões de GEE na bolsa de valores e fundos de investimentos. Para tanto, foram criados os mecanismos para a sua implementação e funcionamento, os quais de acordo com o Guide to the Clean Development Mechanisms - CDM (2003) se dividem em:

- a) Implementação Conjunta
- b) Comércio de Emissões restritas aos países do Anexo I
- c) Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (disponíveis para os países não Anexo I)

No Brasil, conforme dados do Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT-2008), 62 projetos já estão recebendo Créditos de carbono pela implementação de MDL - responsáveis pela redução de 6 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalente, e pela entrada de US\$ 60 milhões com a venda de créditos.

Dentre os projetos apresentados no Brasil ao Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT, 2008), 60% do total está relacionado com a melhoria no processo de geração de energia, tanto na forma de geração desta energia “limpa” como no seu uso mais eficiente.

Considerando o conceito de desenvolvimento sustentável apontado por Reis, Fadigas e Carvalho (2005) no que tange a geração de energia limpa, para que o mesmo seja alcançado, estes devem seguir determinadas linhas de referência básica, as quais identificam que deva ocorrer uma redução no consumo de combustíveis fósseis através do aumento da eficiência do setor energético - desde a geração até o consumo.

Além disso, inclui-se também, mudanças em todo o setor produtivo, no que tange o aumento da eficiência no uso dos materiais e recursos naturais, bem como o desenvolvimento tecnológico no setor energético com vistas a ampliar as alternativas ambientalmente sustentáveis e incentivo ao uso de combustíveis menos poluentes.

Com este objetivo, alternativas vislumbrando a redução de emissões de CO<sub>2</sub> e a geração de energia limpa para o desenvolvimento sustentável, Sokolow (2007) identificou o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> como uma promissora alternativa para este fim.

Sendo assim, o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, que será tratado com mais detalhe na seção seguinte, pode ser realizado em aquíferos salinos profundos, reservatórios já depletados de óleo e gás e em camadas de carvão.

Dentre estas possibilidades, realizar-se-á um estudo mais detalhado sobre o armazenamento geológico em camadas de carvão, a fim de que quando do término do processo seja possível não somente o armazenamento do CO<sub>2</sub>, mas também a extração de gás natural. Este processo é denominado de ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub>).

### **3 ASPECTOS TÉCNICOS ENVOLVENDO O CO<sub>2</sub>**

Sendo o CO<sub>2</sub> o ator principal do processo que será estudado-ECBM-CO<sub>2</sub>, iniciar-se-á com uma breve descrição de suas características, envolvendo seus aspectos técnicos.

Historicamente, a crescente industrialização mundial acarretou na elevação da demanda por combustíveis fósseis, os quais ao serem queimados, como por exemplo, o carvão, petróleo e gás, liberam dióxido de carbono, colaborando assim, para a elevação da concentração de GEE na atmosfera. Têm-se como consenso entre os cientistas do IPCC, que esse aumento da concentração de CO<sub>2</sub> é, parcialmente, responsável pelo aumento na temperatura global.

No que tange a concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, verifica-se que durante a fase que antecedeu o período da revolução industrial, os níveis de emissões de CO<sub>2</sub> eram de 280<sup>20</sup> ppm, ao passo que logo após a Revolução Industrial os níveis de emissões foram se elevando. Sendo assim, alguns pesquisadores do IPCC (2001), identificam que não se pode permitir que sua concentração atmosférica atinja 550 ppm, pois há o risco de uma retro alimentação do ciclo do carbono, adicionando ainda mais CO<sub>2</sub> à atmosfera, tornando-se o aquecimento global “irreversível”.

---

<sup>20</sup> Ppm: partes por milhão por volume de dióxido de carbono.

Segundo Sokolow (2007), para se atingir um patamar de emissões anuais que assegure que a concentração de CO<sub>2</sub> atmosférico não ultrapasse os 550 ppm, destacando que atualmente estamos com 379 ppm, um novo padrão de conduta do ser humano frente à natureza e aos recursos naturais devem ser adotados. Seus estudos, indicam que as tecnologias para a estabilização das emissões atmosféricas devem ser implementadas imediatamente, para que se obtenham os resultados necessários dentro de 50 anos.

Diante desse cenário, buscam-se alternativas que tentem reduzir as emissões destes gases causadores do efeito estufa e uma maneira de reduzir a quantidade de CO<sub>2</sub> liberada na atmosfera é contar com fontes de energia alternativa que produzam quantidades reduzidas de CO<sub>2</sub> com relação os gerados na queima dos combustíveis fósseis.

Dentre essas alternativas incluem-se energia hidrelétrica, eólica, nuclear, geotermal e das marés. Cada uma delas tem limitações e será difícil fazer uma mudança rápida dos combustíveis fósseis para essas outras fontes no período de 50 anos, tal como apresentado em Bianchini (2006). Contudo, novas tecnologias para a retirada do CO<sub>2</sub> gerado que seria emitido para a atmosfera vem sendo estudadas, e dentre elas destaca-se o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>.

### 3.1 CARACTERÍSTICAS DO CO<sub>2</sub>

O dióxido de carbono é constituído estruturalmente por moléculas de carbono e oxigênio, o que torna as atrações intermoleculares muito fracas, transformando-a nas condições ambientais, em um gás. Em decorrência disto surgiu o seu nome comercial “gás carbônico”, cuja sua fórmula química é CO<sub>2</sub>.

O carbono é um elemento básico na composição dos organismos, sendo estocado na atmosfera, nos oceanos, solos, rochas sedimentares e estando presente nos combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral e gás natural).

Nas últimas décadas, conforme estudos do World Energy Outlook (2006), observa-se um aumento na demanda por combustíveis fósseis, principalmente devido a crescente industrialização, e sua queima liberam CO<sub>2</sub>, o gás que mais contribui para o aquecimento global e o aumento do efeito estufa.

Observa-se também que os reservatórios naturais de carbono e os sumidouros<sup>21</sup> estão sendo afetados por ações antrópicas, como no caso das florestas, estoque natural de carbono, o desmatamento e as queimadas estão contribuindo para o aumento do efeito estufa, uma vez que liberam principalmente CO<sub>2</sub> para a atmosfera.

Este aumento da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera, não permite que a natureza consiga realizar o ciclo do carbono de forma a manter o equilíbrio entre os ecos-sistema, pois o tempo de resposta do sistema é lento (as emissões são muito maiores do que a capacidade do planeta de remover) resultando em seu acúmulo na atmosfera.

O homem, através de sua interferência antrópica emite atualmente (2008) cerca de 7 bilhões de toneladas de carbono por ano (IPCC, 2008). Estudos mostram que se forem aplicadas todas as técnicas propostas, no ano de 2056 estaremos com o mesmo patamar de emissões do ano de 2006, o que corresponderia a uma redução de outras 7 Giga toneladas de carbono por ano que seriam adicionalmente emitidos, devido ao natural aumento desta taxa decorrentes dos padrões de consumo, utilização de energia e crescimento populacional. A Figura 1 ilustra o chamado Triângulo de estabilização proposto por Robert Sokolow:

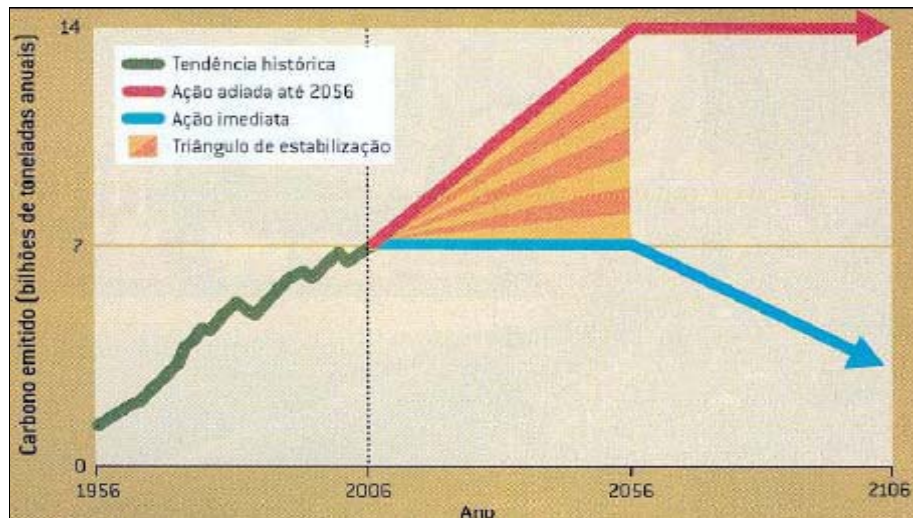


Figura 1 - Triângulo de estabilização de Sokolow (2007)

Fonte: Scientific American

O triângulo de estabilização é um conceito desenvolvido por Pacala e Sokolow, na qual os pesquisadores identificaram que se todas as tecnologias disponíveis no que trata da redução de emissão de GEE, fossem utilizadas de forma conjunta, seriam possíveis estabilizar estas emissões ao patamar do registrado no ano de 2006. Para tanto estas tecnologias foram

<sup>21</sup> Sumidouros: ecossistemas com a capacidade de absorver CO<sub>2</sub>.

divididas em sete cunhas, sendo que cada uma delas corresponde à uma tecnologia diferente, responsável por 1 Giga tonelada de Carbono por ano evitado ao final de 2056.

As Sete Cunhas de Sokolow se referem às tecnologias que se encontram com seu estado tecnológico avançado o bastante para serem amplamente executadas, sendo elas assim discriminadas:

- a) aumento da eficiência energética em geral;
- b) redução no teor de carbono nos combustíveis usados em termelétricas;
- c) uso de energias renováveis;
- d) uso de hidrogênio;
- e) uso de energia nuclear;
- f) seqüestro de carbono via biomassa (conservação de florestas);
- g) seqüestro geológico de carbono (CCGS - Carbon Capture and Geological Storage).

### 3.2 PROCESSO DE ARMAZENAMENTO DE CO<sub>2</sub>

O armazenamento geológico de carbono é a prática de injetar CO<sub>2</sub> em formações geológicas previamente selecionadas, capazes de retê-lo por milhares ou até mesmo milhões de anos; isolando-o assim da atmosfera onde atua como GEE.

Assim sendo, o armazenamento geológico está baseado no princípio de devolver o carbono para o subsolo, isto é, retornar o excesso de carbono (na forma de CO<sub>2</sub>) emitido pela queima de combustíveis fósseis para reservatórios geológicos, ficando este retido nos espaços porosos de rochas sedimentares. Existe, como podem ser observados na Figura 2, principalmente três reservatórios geológicos que podem estocar com segurança grandes quantidades de dióxido de carbono e impedir seu retorno para a atmosfera: (1) campos de petróleo maduros ou *depletados* (cuja exploração<sup>22</sup> já foi finalizada), (2) aquíferos salinos profundos e (3) camadas de carvão (KETZER, 2005).

O armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> como alternativa de mitigação das mudanças climáticas foi primeiramente proposto na década de 70, porém pouca pesquisa foi realizada até os anos 90, quando a idéia adquiriu credibilidade graças ao trabalho de indivíduos e grupos de pesquisa em conjunto com o IPCC.

---

<sup>22</sup> Exploração: extração de recursos naturais em reservatórios geológicos

O Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas- IPCC (2006), no seu estudo sobre Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub>, considera esta atividade capaz de realizar uma mitigação da emissão de CO<sub>2</sub> em nível mundial entre 220 e 2.200 Gt CO<sub>2</sub> ,no cálculo mais otimista, cumulativamente. Isto corresponde entre 15 e 55% dos gases emitidos até 2100 considerando a estabilização atmosférica entre 450 e 750 ppms. Sendo assim o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> é apresentado como uma opção promissora no que trata da redução de emissões de GEE para a atmosfera.

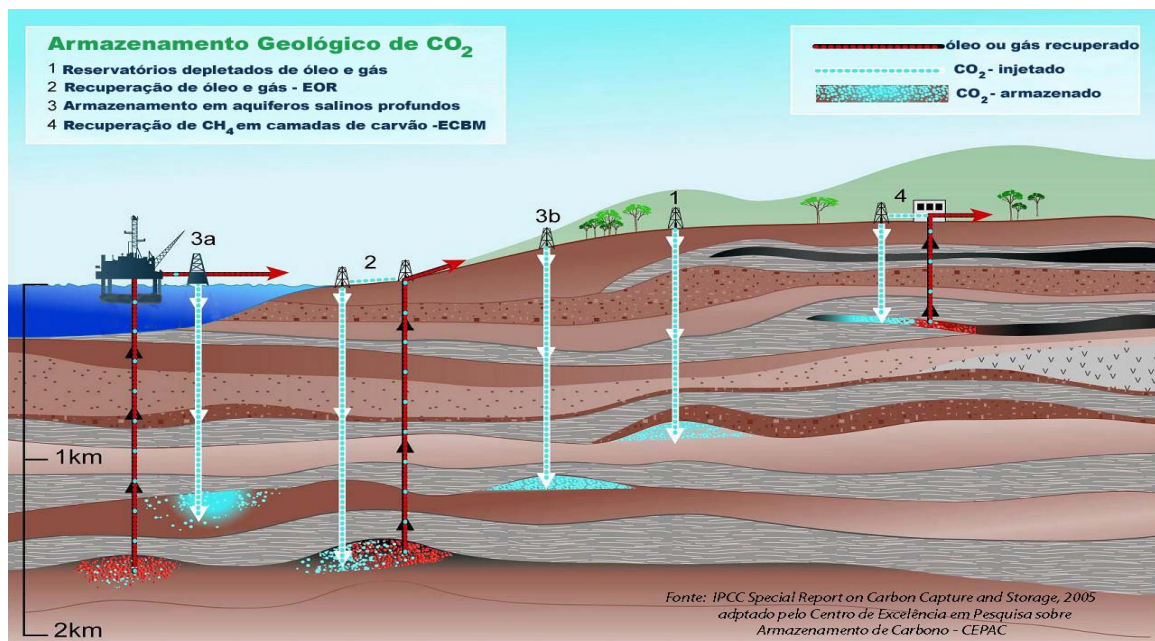


Figura 2 - Esquema de opções de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>

Fonte: IPCC (2005)

O processo conhecido como CCGS (Carbon Capture Geological Storage) Captura e armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, para ser bem sucedido, conforme descrito por Ravagnani (2007), devem atender aos requisitos básicos que seguem:

- a) deve ser rentável e competitivo;
- b) fornecer armazenamento estável e seguro a longo prazo;
- c) ser aceitável ambientalmente.

Segundo, Herzog et al. (2000), para o processo de armazenamento geológico de carbono tornar-se prática aplicável, é necessária a aceitação pública (indicando que esta prática é ambientalmente correta e segura) com o objetivo de passar a contar com o apoio de lideranças de instituições privadas e do governo. Essa aceitação é de suma importância para que haja conseqüentemente uma maior divulgação e expansão desta tecnologia, tornando-a uma prática em larga escala e de cunho comercial.



O CCGS obedece a um ciclo de atividades para a sua execução, descritos na Figura 3, na qual consiste na captura, transporte e armazenamento e/ou utilização em local ambientalmente aceito, além do monitoramento do processo no intuito de verificar se realmente o CO<sub>2</sub> está sendo retirado da atmosfera e sendo armazenado em reservatório apropriado, além de monitorar possíveis vazamentos ao longo da atividade.

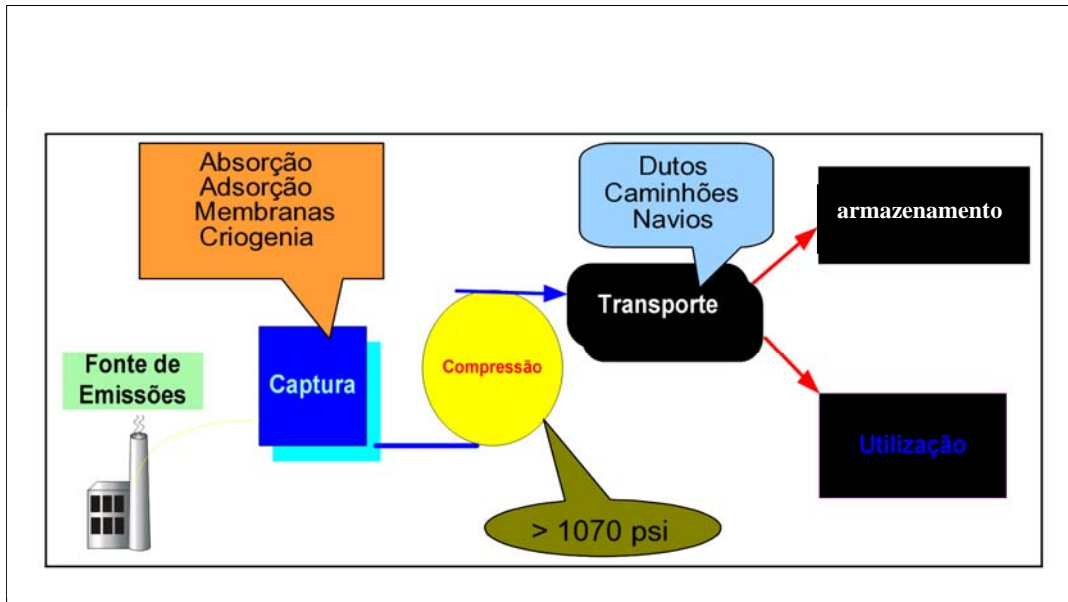


Figura 3 - Fluxograma do processo de CCGS

Fonte: Ravagnani (2007)

### 3.3 MÉTODOS PARA CAPTURA, TRANSPORTE E ARMAZENAMENTO DE CO<sub>2</sub>

#### 3.3.1 Captura de CO<sub>2</sub>

O primeiro passo para a realização do processo de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> consiste na separação dos gases produzidos pela fonte emissora e a captura do CO<sub>2</sub>.

A fim de capturar uma grande quantidade de CO<sub>2</sub> com o menor custo, sua extração é feita, principalmente, a partir de grandes fontes estacionárias, como refinarias, usinas termelétricas, indústrias petroquímicas, siderúrgicas, dentre outras fontes.

Comumente o CO<sub>2</sub> é capturado como um subproduto de processos industriais, tais como produção de amônia sintética, produção de hidrogênio e calcinação de calcário. Contudo o custo em se tratando de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> é elevado, sendo, portanto, a principal

prioridade com vista à realização desta atividade, o desenvolvimento de tecnologias para a redução dos custos de captura.

Conforme discutido em Licks (2008) são identificadas algumas tecnologias para a separação e captura de CO<sub>2</sub>, como a absorção (química e física), adsorção (física e química), destilação a baixas temperaturas (criogenia), separação de gás por membranas, mineralização e biomineralização. Logo a que apresenta maior maturidade tecnológica e utilização, é o de absorção química.

A tecnologia de absorção química consiste, segundo Herzog, Golomb (2004 apud LICKS, 2008) nos processos em que “um gás é absorvido em um solvente líquido pela formação de um composto quimicamente ligado. Quando utilizado em usinas térmicas para capturar CO<sub>2</sub> em sistemas de pós-combustão de CO<sub>2</sub>, o gás de combustão é borbulhado através do solvente em uma coluna absorvente. Em seguida o solvente passa através de um regenerador aonde o CO<sub>2</sub> absorvido é expulso (*stripped*) do solvente, utilizando vapor em contracorrente a 100 - 120°C. O vapor d’água condensa, originando um fluxo de CO<sub>2</sub> de alta concentração (>99%), que pode ser comprimido para utilização comercial ou estocagem” (LICKS, 2008, p. 47).

A absorção química vem sendo extensamente usada para a retirada de CO<sub>2</sub> de correntes gasosas em processos industriais. Desde 1929 já existiam plantas industriais que utilizavam a monoetanolamina (MEA) para capturar CO<sub>2</sub>. Apesar de ser um processo relativamente caro, os processos de absorção podem ser lucrativos devido à possibilidade de comercialização do CO<sub>2</sub> capturado. Atualmente, esta tecnologia de absorção MEA está sendo aplicada nos projetos de Sleipner (Noruega) e Weyburn (Estados Unidos e Canadá) (RAVAGNANI, 2007).

### 3.3.2 Métodos e Características de Transporte de CO<sub>2</sub>

Após a separação e captura do gás de exaustão, o CO<sub>2</sub>, de elevada pureza (> 90%), deve ser transportado para o local de injeção e armazenamento. Este transporte, segundo Carbon Capture and Storage in CDM (2007), pode ser realizado a partir de dutos, navios, trens e por caminhões-tanque.

O transporte por dutos é o mais recomendado quando a distância entre a fonte emissora dos gases, a serem separados e capturados, e o local de injeção e armazenamento for

pequeno ou médio, ou seja, segundo Sasaki (2004) é recomendado para distâncias de até 100 km entre a fonte emissora e local de armazenamento sem elevação no seu custo de implantação. Dentre as alternativas existentes para o transporte do CO<sub>2</sub>, esta é a mais barata, por utilizar tecnologia já existente (os dutos de transporte são semelhantes aos utilizados nos gasodutos) sem necessidade de liquefazer este mesmo CO<sub>2</sub>, o que acaba por acarretar em um aumento nas despesas com transporte.

O transporte por meio de navios, trens e por caminhões, destaca Sasaki (2004), são indicados nos casos em que a distância entre a fonte emissora e local do armazenamento for superiores a 100 km, contudo para esse tipo de transporte o CO<sub>2</sub> deve ser liquefeito e, o custo de liquefação não pode ser negligenciado, o que encarecerá ainda mais o custo desta modalidade, sem contar com as despesas extras e riscos de vazamentos e acidentes no transporte do mesmo.

### 3.3.3 Opções de Armazenamento de CO<sub>2</sub>

Conforme citado anteriormente, as alternativas existentes para o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> são: reservatórios depletados de óleo e gás, aquíferos salinos profundos e em camadas de carvão.

A Tabela 1 ilustra os reservatórios de armazenamento de CO<sub>2</sub> nos diversos locais onde é possível a sua realização.

Tabela 1 - Tipos de Reservatórios de Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> e suas capacidades mundiais

Opção de reservatório	Capacidade mundial
Oceanos	1000 a 10000+ GtC
Formações Salinas Profundas	100 a 10000 GtC
Reservatórios Depletados de Óleo e Gás	100 a 1000 GtC
Leitos de Carvão	10 a 1000 GtC
Terrestre	10 a 100GtC
Utilização	Atualmente < 0,1 GtC/ano

<sup>a</sup> Estimativas de ordens de grandeza

Fonte: Adaptado de Herzog e Golomb (2004 apud RAVAGNANI, 2007)

#### 4 ECBM-CO<sub>2</sub>

O ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced CoalBed Methane Recovery with CO<sub>2</sub>) consiste na neutralização das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera através de sua injeção em camadas de carvão, e conseqüente produção de gás natural associado. Esse armazenamento é realizado em camadas de carvão aonde os custos para mineração do mesmo não tornaria viável economicamente esta atividade, normalmente em função da elevada profundidade e custos elevados custos de exploração.

O carvão armazenará permanentemente o CO<sub>2</sub> em sua matriz micro porosa por adsorção, desde que não se alterem as condições de pressão e temperatura da camada. Quando o CO<sub>2</sub> é injetado no carvão, o mesmo é adsorvido como preferência para o metano, que é, portanto, liberado. Esta tecnologia é conhecida como recuperação avançada de metano em camadas de carvão.

O ECBM-CO<sub>2</sub>, para a sua realização, segundo Reeves, Davis e Oudinot (2004) obedece ao seguinte fluxograma, em que cada um destes itens será contemplado nas premissas para cálculos econômico-financeiros, por apresentarem custos de execução.

O diagrama da atividade do ECBM- CO<sub>2</sub>, assim como do CCGS é constituído por três etapas principais, como citadas anteriormente:

- a) captura;
- b) transporte;
- c) armazenamento do CO<sub>2</sub>.

Dessa forma, a Figura 4 ilustra a estrutura física necessária para a realização do processo de captura de CO<sub>2</sub>, de uma fonte estacionária, sendo então realizada a injeção de CO<sub>2</sub> e posterior extração de Gás Natural.

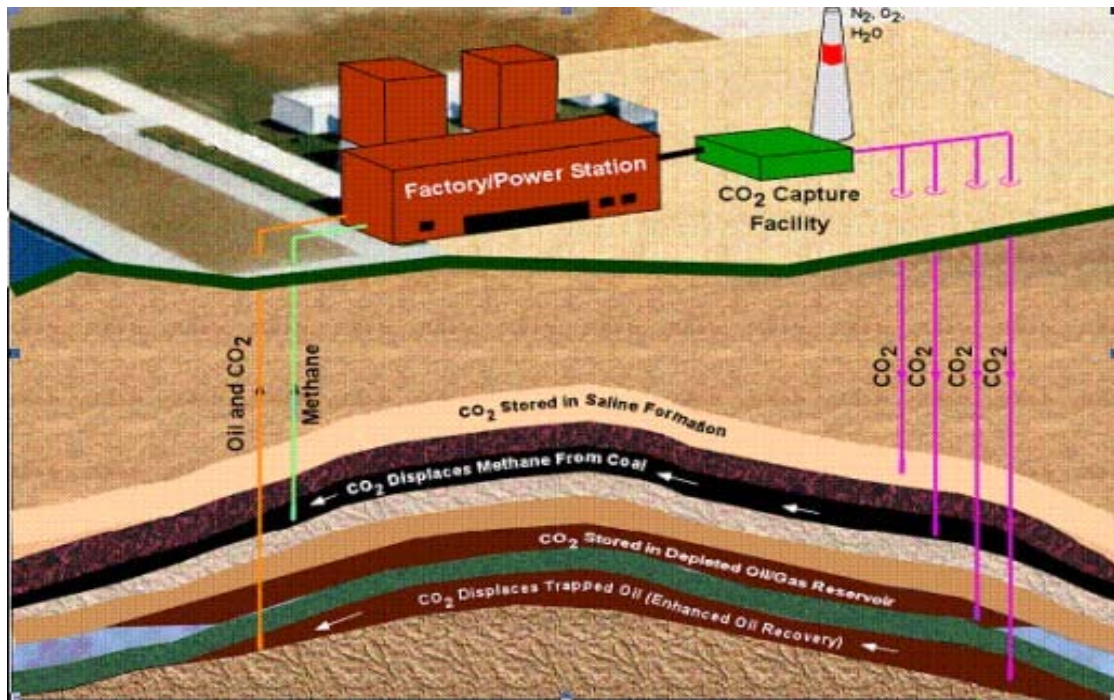


Figura 4 - Estrutura física de uma planta com ECBM tendo como fornecedora de CO<sub>2</sub> uma fonte estacionária

Fonte: IPCC (2005)

Como pode ser visualizado na Figura 4 são necessários a perfuração de poços, tanto para a injeção do CO<sub>2</sub> (linhas desenhadas em rosa), bem como a extração de gás (linha no detalhe em verde), além de maquinaria para a separação dos gases e demais equipamentos para a realização da atividade.

Demais pressupostos são imprescindíveis para a realização do processo de ECBM-CO<sub>2</sub>, dado que segundo Wong, Gunter, Law et al. (s.d.) destacam-se os requisitos dos reservatórios geológicos para sua aplicação, os quais são descritos como segue:

- a) capacidade e injetividade (porosidade e permeabilidade) adequadas;
- b) presença de unidade selante (ou confinante) satisfatória;
- c) localização geológica estável da bacia, para evitar incidentes capazes de comprometer a integridade do armazenamento, como por exemplo, poucas falhas e fraturas, e que estas não estejam em zonas de cisalhamento para garantir que a injeção de CO<sub>2</sub> não comprometa a integridade do selo (BIANCHINI, 2006).

Sendo assim, têm-se elencadas as premissas básicas para a realização de processo de ECBM-CO<sub>2</sub>, bem como os requisitos a serem analisados quando da escolha da localidade de sua execução.

#### 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA REGIÃO DE ESTUDO

Estudos realizados pelo CARBMAP<sup>23</sup> para a região sul do Brasil, identificaram os locais com potencialidade para a execução do ECBM- CO<sub>2</sub>, os quais estão descritos na Figura 5.

A metodologia utilizada pelo CARBMAP (CAPORALE, 2008) que possibilitou a escolha das camadas de carvão como alvo para o presente estudo foram a profundidade da janela de carvão presente numa profundidade maior que 300 metros e distância menor que 300 km das fontes emissoras de CO<sub>2</sub> (APEC Energy Working Group, 2003 apud CEPAC, 2008).

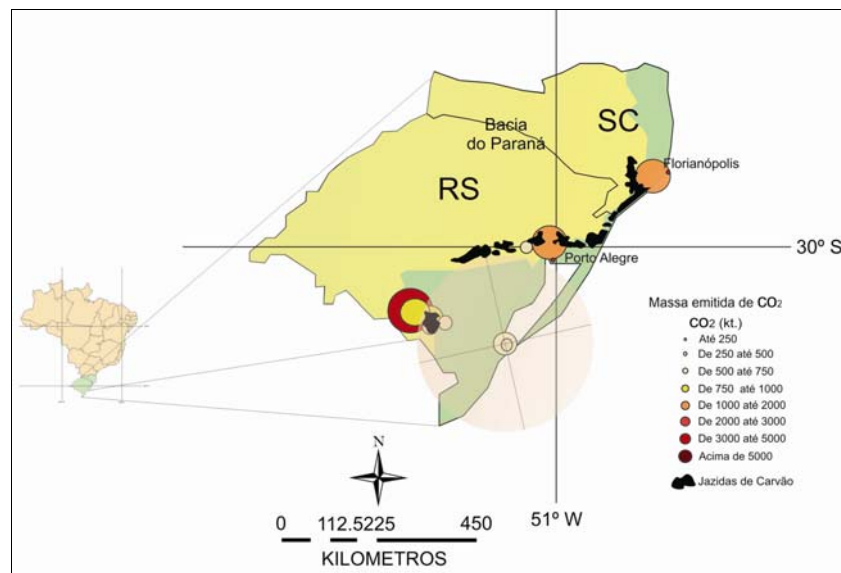


Figura 5 - Mapa de Localização das camadas de carvão associadas às fontes emissoras de CO<sub>2</sub>

Fonte: CEPAC (2008)

Como resultado da capacidade de armazenamento de CO<sub>2</sub> nas jazidas apresentadas, obteve-se o volume efetivo de 221 milhões de toneladas de dióxido de carbono adsorvido nas camadas de carvão presentes nos estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina, indicando um grande potencial para a realização do ECBM na região sul do País (KETZER et al., 2007).

Diante deste cenário apresentado para a região sul do Brasil, no que tange ao mapeamento geológico de jazidas carboníferas, a localidade escolhida para a análise da realização deste processo foi o Estado do Rio Grande do Sul, mais precisamente o município

<sup>23</sup> Carbmap é um projeto da PUC/RS cujo objetivo final é a elaboração do Mapa Brasileiro de Sequestro de Carbono, em fase de conclusão.

de Triunfo que possui em seu subsolo a jazida de carvão de Charqueadas. Esta região foi elencada devido à sua característica carbonífera, identificada por Silva (1984) e do mapeamento realizado no Projeto CARBMAP do Centro de Excelência em Pesquisa sobre Armazenamento de Carbono (CEPAC), e também por abrigar o Pólo Petroquímico de Triunfo (fonte estacionária), que fornecerá o CO<sub>2</sub> necessário ao projeto de ECBM-CO<sub>2</sub>.

A jazida carbonífera de Charqueadas situa-se na região centro-leste do Estado, na porção final da bacia do Rio Jacuí, abrangendo áreas dos municípios de São Jerônimo, Triunfo, Montenegro, Canoas e Guaíba.

A qualidade do carvão na Jazida de Charqueadas foi analisada (SILVA, 1984) como segue:

#### QUALIDADE DOS CARVÕES

A qualidade dos carvões da Bacia de Charqueadas será considerada com base nos seguintes parâmetros:

a) Grau de carbonificação (“rank”)

b) Poder calorífico

a) Grau de carbonificação: O carvão de Charqueadas foi classificado como Sub-betuminoso A ou Betuminoso Alto Volátil C (ASTM), de acordo com poder refletor médio das vitrinitas. Portanto, uma classificação de Betuminoso Alto Volátil C, não aglomerante, é adequada.

b) Poder calorífico : apresentam valores de 12.700 Btu/lb. Como, para uso da tabela de classificação de carvão segundo o “rank”, devem ser considerados somente os valores em base úmida isenta de matéria mineral (TEICHMULLER, 1982), somente levaremos em consideração para o estabelecimento da qualidade dos carvões de Charqueadas os valores de Ferreira et al. (1978).

Sendo assim a jazida de Charqueadas possui as características, em princípio, apropriadas à realização do ECBM- CO<sub>2</sub>, o qual identifica como requisito básico a classificação do carvão como sub-betuninoso e poder calorífico não inferior a 10.000 Btu/lb.

Outros aspectos fundamentais para a realização de ECBM- CO<sub>2</sub> é a verificação do tempo de armazenamento, que constitui a principal demanda do sequestro de carbono, ou seja, a garantia de permanência do CO<sub>2</sub> armazenado por determinado período de tempo, a fim de permitir uma rápida adsorção do CO<sub>2</sub> em que o seu ciclo natural é capaz de realizar. Em outras palavras, o homem estaria devolvendo o carbono para o subsolo.

Há um ponto chave que garante, conforme Reeves (2002), que grandes quantidades de CO<sub>2</sub> possam ser armazenadas em formações geológicas por tempo indeterminado: a existência de acumulações naturais de CO<sub>2</sub> em jazidas semelhantes às de gás natural. Bastante explorados nos Estados Unidos desde a década de 70, estes reservatórios possuem, às vezes, milhões de anos de existência sem apresentar qualquer risco de vazamento, reações químicas descontroladas ou quaisquer outros efeitos maléficis ao meio ambiente.

Outro ponto de suma importância que justifica a escolha do local de realização do projeto de ECBM na jazida de Charqueadas é a proximidade entre a fonte estacionária (Pólo Petroquímico de Triunfo) e o local de armazenamento do CO<sub>2</sub>, estes com uma distância de aproximadamente 50 km, a qual permite que o transporte do CO<sub>2</sub> separado seja realizado com custos aceitáveis.

Além disto, este processo pode ser capaz de criar uma nova dinâmica para o desenvolvimento regional através da adoção de novas tecnologias que podem gerar mais renda e emprego na região associada a uma maior preocupação com o meio ambiente.

Contudo, mesmo existindo estudos que identificam a potencialidade e segurança do armazenamento em jazidas de carvão (SILVA, 1984), não se pode abrir mão do Processo de Monitoramento, o qual consiste no acompanhamento com medição permanente do CO<sub>2</sub> armazenado. Sendo assim, têm-se à disposição diversas técnicas de monitoramento, as quais se tornam as maiores aliadas na garantia de sucesso do ECBM.

De modo geral, o monitoramento é usado para:

- a) assegurar e documentar o procedimento de injeção, fornecendo dados como condições do poço de injeção, pressão *in situ*, taxa de injeção, dentre outros. Além disso, ajudam também a prevenir possíveis vazamentos através do próprio poço de injeção;
- b) verificar e quantificar a quantidade de CO<sub>2</sub> injetado que foi, ou está sendo capturado por cada um dos diversos mecanismos de aprisionamento;
- c) fornecer um panorama geral da atividade, provendo informações úteis no planejamento do volume de CO<sub>2</sub> a ser armazenado, pressões de injeção adequadas e o planejamento de novos poços de injeção e produção (no caso de EOR ou ECBM);
- d) demonstrar que o CO<sub>2</sub> injetado permanece na formação pretendida, agregando assim confiabilidade e capacidade de predição para futuros projetos, além de fornecer dados preciosos à atividade de modelagens numéricas;
- e) detectar vazamentos e prover medidas rápidas e eficientes de controle do escape de CO<sub>2</sub>, a fim de agilizar possíveis atividades de remediação.

Destarte, e tendo conhecimento das premissas que se fazem indispensáveis para a implementação de processo de ECBM-CO<sub>2</sub> na jazida de Charqueadas, conforme destacado ao longo do artigo, será tratado nesta seção final a questão que envolve a importância e funcionalidade da elaboração da viabilidade econômica para qualquer projeto que envolva recursos financeiros. Dessa maneira, e sem a pretensão de esgotar o assunto, foram destacados os principais componentes da elaboração de um modelo de viabilidade econômica.



## **5 METODOLOGIA PARA ELABORAÇÃO DE VIABILIDADE ECONÔMICA FINANCEIRA**

A Viabilidade Econômico-financeira, também conhecida como Plano de Negócios têm por objetivo auxiliar na formulação de um conjunto de projeções abrangentes e realistas de receitas e despesas, que explicitem o potencial de retorno previsto ao investimento a ser realizado. Dessa forma, ela servirá como um parâmetro mais evidente de demonstração da atratividade do negócio, tanto para os próprios empreendedores, quanto para os investidores e financiadores, pois permite tirar uma fotografia futura do negócio, nos mais diferentes cenários, reduzindo assim os riscos do mesmo. Nesse intuito serão abordados os conceitos financeiros e contábeis para a modelagem de um Plano de Negócios.

### **5.1 VIABILIDADE ECONÔMICA: CONCEITOS FINANCEIROS E CONTÁBEIS PARA A MODELAGEM DO PLANO DE NEGÓCIOS**

#### **5.1.1 Modelo Financeiro**

O Modelo Financeiro é ferramenta fundamental para a análise do projeto de investimento, como alternativa na busca de soluções financeiras de atividades em andamento, que estejam apresentando “prejuízo” ou demais problemas de gestão do negócio como um todo.

O objetivo da elaboração do Modelo Financeiro, segundo Gitman (1997) é construir um conjunto de projeções abrangentes e realistas de receitas e despesas, que demonstrem o potencial de retorno previsto ao investimento pretendido. Esse servirá como o parâmetro para o diagnóstico da demonstração da atratividade do negócio, identificando de forma determinística sua viabilidade econômica.

Na avaliação determinística, o investimento é avaliado descontando-se os fluxos de caixa a valor presente associados com a situação real do projeto. Ao realizar um desenho do estado real do projeto a ser executado, obtêm-se a melhor estimativa de fluxos de caixa, taxa de desconto, valor presente líquido e qualquer outra variável envolvida. Quando da

estimativa, obtêm-se um valor presente negativo dos fluxos de caixa, o investimento deveria ser rejeitado e, quando o resultado fosse positivo, o mesmo seria recomendado.

Casarotto Filho e Kopittke (2000) descrevem que são três os métodos básicos de análise de investimento: Método do Valor Atual (VAUE), Método do Valor Presente (VPL), Método da Taxa Interna de Retorno (TIR), onde todos estes são classificados como métodos determinísticos ou exatos.

### **5.1.2 Elaborando a Viabilidade Econômico-Financeira do projeto**

Primeiramente, é indispensável que se tenha conhecimento do montante de capital necessário para a implementação da atividade. Logo, o primeiro passo para iniciar a valoração do negócio trata dos investimentos iniciais para montar ou ampliar o negócio. Basicamente essas podem conter três tipos de gastos:

- a) as despesas pré-operacionais são aquelas efetuadas antes da empresa entrar em operação, como por exemplo, os gastos com pesquisas de mercado, criação publicitária, registro da empresa, estudos de avaliação ambiental;
- b) os investimentos fixos, que representam as aquisições de máquinas e equipamentos, obras, automóveis, ou seja, o montante de capital necessário para a implantação de toda infra-estrutura física, convertida em patrimônio da empresa;
- c) o capital de giro, que é a parte do capital que financiará as despesas do primeiro ciclo operacional do negócio.

Depois de conhecido o valor a ser aportado até que esta possa iniciar suas atividades, é preciso ter esclarecido qual o retorno do investimento, ou seja, qual a rentabilidade do capital inicial a ser investido. À princípio uma empresa só deveria realizar uma atividade se esta gerasse lucro, e, para obtermos esta informação, é indispensável projetar as receitas e todos os custos e despesas a serem gerados. O resultado final, normalmente expresso para o período mensal, é elaborado utilizando o Demonstrativo de Resultados do Exercício (DRE).

Outra ferramenta de importância fundamental para a realização do estudo de viabilidade econômico-financeira, de acordo com Gitman (1997) é o Fluxo de Caixa, pois permite um controle financeiro de curto prazo e longo prazo, que acompanham as entradas e saídas de recursos do caixa da empresa. O Fluxo de Caixa mostra a disponibilidade de capital imediato, necessário para o período desejado, e auxilia o investidor na tomada de decisões.

Através dos dados do Fluxo de Caixa, é possível calcular o tempo necessário para recuperar o investimento (*payback*), ou seja, a partir de uma projeção de saldos do caixa, encontra-se o tempo que o empreendedor necessita para recuperar o dinheiro investido no negócio. O Payback é usado com frequência como critério de tomada de decisão no que tange ao risco do investimento, porque se entende que, quanto maior o tempo de espera para se obter o retorno do investimento, maior o risco de perda, associado a instabilidades que não podem ser medidas pelo modelo.

Além do *payback*, outros dois indicadores derivam do fluxo de caixa:

- a) Valor Presente Líquido (VPL);
- b) Taxa Interna de Retorno (TIR);

*O VPL*

$$VPL = I + \sum_{t=1}^n \left[ \frac{R_t}{(1+k)^t} \right] + \frac{Q}{(1+k)^n} \quad (1)$$

Onde:

VPL - valor presente líquido, R\$;

I - investimento de capital na época zero, R\$;

$R_t$  - retornos depois de descontados os impostos, ou imposto de renda, R\$;

n - prazo da análise do projeto ou vida útil, ano;

k - taxa de juros, decimal;

Q - valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$; e

t - tempo, ano.

Portanto, o critério do método do VPL estabelece, segundo Salim (2005), que enquanto o valor presente das entradas for maior que o valor presente das saídas, que foi calculado com a taxa de juros k que mede o custo de capital, o projeto deve ser aceito. Resumindo, sempre que: (i)  $VPL > 0$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $VPL = 0$  é indiferente aceitar ou não, e (iii)  $VPL < 0$ , o projeto não deve ser aceito.

*A TIR*

$$VPL = 0 = I + \sum_{t=1}^n \left[ \frac{R_t}{(1+TIR)^t} \right] + \frac{Q}{(1+TIR)^n} \quad (2)$$

Onde:

TIR - taxa interna de retorno, decimal;

VPL - valor presente líquido, R\$;

I - investimento de capital na época zero, R\$;

$R_t$  - retornos depois de descontados os impostos, ou imposto de renda, R\$;

T - tempo, anos;

N - prazo da análise do projeto ou vida útil, ano; e

Q - valor residual do projeto no final do prazo da análise, R\$.

O critério do método da taxa interna de retorno estabelece que, enquanto o valor da TIR for maior que o valor do custo de capital  $k$ , o projeto deve ser aceito, isto é, sempre que: (i)  $TIR > k$ , o projeto deve ser aceito; (ii)  $TIR = k$ , é indiferente aceitar ou não, e (iii)  $TIR < k$ , o projeto não deve ser aceito.

O Ponto de Equilíbrio, ou Break Even Point, identifica qual o montante de capital que permite cobrir exatamente os seus custos, para equilibrar as despesas e as receitas. A definição do ponto de equilíbrio é indicador importante, pois os valores acima do ponto de equilíbrio representam a obtenção de lucro; abaixo, prejuízo.

### **5.1.3 Projeção das receitas e despesas**

As Receitas projetadas para determinada atividade, devem ser baseadas em informações obtidas mediante prévia pesquisa de mercado, o qual fundamentará a elaboração de plano de negócios da atividade, visando assim atender o mercado consumidor delimitado.

De acordo com Casarotto Filho e Kopittke (2000), as Receitas são estimadas através da previsão destes produtos/serviços a serem gerados, baseados na informação de que os mesmos serão disponibilizados ao mercado consumidor e vendidos. Dessa forma o resultado desta operação gerará as receitas chamadas de Operacionais.

As receitas advindas da execução de um projeto ECBM-CO<sub>2</sub> serão, portanto, provenientes da venda do gás metano, gerado no final da atividade, e da venda de Créditos de Carbono, no caso em que se considera sua obtenção.

Sendo assim, enfatiza-se que ao propor a implantação de uma atividade e disponibilizar o resultado desta, deverá ser realizada, como mencionado anteriormente, uma análise do mercado no qual se está buscando participar: a sua estrutura de custos e as políticas de comercialização vigentes, a fim de identificar o preço de venda que vem sendo

praticado, no intuito de elaborar uma projeção das receitas a serem auferidas de acordo com a realidade do mercado.

No que trata da estruturação de custos, é fundamental conhecer a distinção na classificação entre os custos existentes, que segundo Woiler e Mathias (1996) são divididos em dois grupos: Custos Fixos - que independem do montante produzido, ou seja, havendo ou não produção, estes existem e não se alteram, e Custos Variáveis - estes variam de acordo com o montante produzido, ou seja, estão diretamente relacionados com a produção.

As premissas técnicas da implantação de projeto de ECBM-CO<sub>2</sub>, devem ser detalhadamente descritas, pois o seu memorial descritivo é o pilar da elaboração de todo o cálculo do investimento pré-operacional e operacional da atividade, de tal maneira que se torne possível efetuar a análise da viabilidade econômica do projeto, o qual através de sua análise indicará as potencialidades da execução desta atividade, além da criação de cenários que identificarão em quais circunstâncias este se tornará um investimento rentável e economicamente viável.

#### **5.1.4 Estudo de caso: Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> - Projeto de Sleipner**

Em nível mundial, o armazenamento geológico vem sendo utilizado, principalmente em poços de extração de petróleo, estes desde a década de 80, visto que a injeção de CO<sub>2</sub> nos reservatórios permite um ganho de produtividade de até 30%, comparativamente sem o seu uso. Porém, esta prática não tem como objetivo o armazenamento geológico, e sim o aumento na produtividade. Sobremaneira, isto identifica que já existem tecnologias para a realização da injeção de CO<sub>2</sub>, o que sinaliza a possibilidade desta ganhar cada dia mais importância, devido principalmente a sua capacidade de seqüestrar CO<sub>2</sub> no subsolo, quando da sua execução para o armazenamento geológicos, e mantê-lo lá por dezenas de milhares de anos.

O armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> também vem sendo realizado em reservatórios de gás já depletados, como é o caso do Projeto Sleipner.

No Mar do Norte, há cerca de 250 km de distância da costa da Noruega, o primeiro projeto de escala comercial de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> está em operação, tendo iniciado em 1996, como descrito por Herzog e Golomb, 2004.

O projeto Sleipner consiste na injeção de CO<sub>2</sub> a 800 metros abaixo do fundo do Mar do Norte (aquífero salino profundo), sendo responsável por, anualmente, o armazenamento de Um milhão de toneladas de CO<sub>2</sub>, o equivalente a cerca de 3% das emissões totais anuais de CO<sub>2</sub> da Noruega (RAVAGNANI, 2007, p. 31).

Da implantação deste projeto, espera-se que até o final do tempo de vida do projeto sejam armazenados em torno de 20 milhões de toneladas do CO<sub>2</sub>. A grande motivação para a realização deste empreendimento, foi o custo de emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, taxada em US\$ 50 por tonelada de CO<sub>2</sub>, taxa esta estipulada pelo governo Norueguês.

O investimento total do empreendimento foi de 80 milhões de dólares, entretanto se o CO<sub>2</sub> estivesse sendo liberado na atmosfera, a empresa estaria desembolsando 50 milhões de dólares a cada ano entre 1996 e 1999 com taxas por emissão impostas pelo governo Norueguês.

O Projeto Sleipner apresentou, dentre os indicadores econômicos, um VPL igual a zero em apenas um ano e meio da atividade, o que indica que seu pay-back simples foi de 1,5 anos. Mas estes resultados só foram possíveis para este curto espaço de tempo, porque o governo Norueguês cobra taxas pela emissão de CO<sub>2</sub> na atmosfera, dessa forma somente com a economia dessas taxas, o investimento foi retomado em um ano e meio.

Logo, cabe ressaltar a importância da adoção pelos países desenvolvidos bem como os em desenvolvimento, de políticas públicas que incluam taxação sobre a emissão de GEE para atmosfera, vislumbrando a adoção de novas tecnologias que combatam de forma concomitante o aquecimento global e a redução dessas emissões.

## **6 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Com a criação do Protocolo de Quioto o cenário industrial mundial começou a acenar para uma nova preocupação: a redução da emissão de gases de efeito estufa, responsável pelo aquecimento global.

Dessa forma, novas tecnologias vêm sendo estudadas a fim de contribuir nessa tarefa, e dentre as quais destaca-se o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, que em curto espaço de tempo pode reduzir as emissões mundiais de GEE em 20%, dado a grande capacidade de reservatórios naturais retê-lo por dezenas de milhares de anos.

Sendo assim, com vistas a colaborar no arcabouço de documentos que tratam do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> objetivando a contemplação deste processo em uma nova versão do Protocolo de Quioto dentre os mecanismos de flexibilização, passíveis de obtenção

de Créditos de Carbono, realizou-se um estudo detalhado do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em jazidas de carvão (ECBM-CO<sub>2</sub>).

Nesse intuito, foi possível verificar as potencialidades do processo ECBM-CO<sub>2</sub>, como forma alternativa para o seqüestro de CO<sub>2</sub> emitidos da queima de combustíveis fósseis por grandes fontes estacionárias no Brasil.

Dentre algumas alternativas de localidade apresentadas pelo CARBMAP, destaca-se o estado do Rio Grande do Sul, mais especificamente o município de Triunfo, visto que as camadas de carvão localizadas no centro do Estado, dentre elas a Jazida de Charqueadas, apresentam as características, em princípio, necessárias para a realização do processo de ECBM-CO<sub>2</sub>. Para tanto, se faz também indispensável a presença de uma grande fonte estacionária fornecedora de CO<sub>2</sub>. Dado portanto, a proximidade do Pólo Petroquímico de Triunfo da Jazida de Charqueadas, tem-se esta localidade com alto potencial para a realização deste projeto.

Desse modo, para a realização de um processo desta magnitude, é de fundamental importância a construção de um modelo de viabilidade econômico-financeira, sendo que esta pode ser justificada pela relevância do tema que engloba o desenvolvimento sustentável e a geração de energia mais limpa.

Além disso, a elaboração da viabilidade econômica permite que investidores interessados neste tipo de atividade possam visualizar o montante de recursos a serem aportados e em quais circunstâncias o mesmo é economicamente viável, permitindo que o investidor possa tomar a decisão entre realizar ou não o investimento de maneira confiável.

Tem-se também que a adoção de novas tecnologias identifica formas alternativas de utilização dos recursos naturais garantindo assim, o seu uso de modo contínuo pelas gerações futuras, não permitindo seu esgotamento.

Não obstante, a implantação de um projeto desta grandeza, pode vir a ser responsável pela geração, além do Gás Natural, que abastecerá o Pólo Petroquímico de Triunfo e talvez outros municípios próximos, criar uma nova dinâmica para o desenvolvimento regional através da adoção de novas tecnologias que podem gerar mais renda e emprego na região associada a uma maior preocupação com o meio ambiente.

## REFERÊNCIAS

- BIANCHINI, Rafael Valdetaro. **O Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> como Opção de Mitigação das Mudanças Climáticas**. Trabalho de conclusão (Graduação) – curso de Engenharia Ambiental, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2007.
- BRAGA, Célia. **Contabilidade Ambiental: ferramenta para a gestão da sustentabilidade**. São Paulo: Atlas, 2007.
- CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. 9.ed. São Paulo: Atlas, 2000.
- CDM - CLEAN DEVELOPMENT MECHANISM. **Guide to the Clean Development Mechanism: putting the marrakech accords into practice**. New York, Geneva: United Nations, 2003.
- CEPAC - CENTRO DE EXCELÊNCIA EM PESQUISA SOBRE ARMAZENAMENTO DE CARBONO. **Camadas de carvão brasileiras e capacidade para armazenamento de CO<sub>2</sub> para redução das emissões de gases de efeito-estufa**. XI Mostra da Graduação da PUCRS. Porto Alegre, 2008.
- FOLADORI, Guilherme. **Limites do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Unicamp, 2001.
- GITMAN, L. J. **Princípios de Administração Financeira**. 7.ed. São Paulo: Harbra, 1997.
- HERZOG, Howard; GOLOMB, Dan. **Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2004.
- IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Greenhouse Gas R&D Programme. **Geologic Storage of Carbon Dioxide: Staying Safely Underground**. January, 2008. Disponível em: <<http://www.ieagreen.org.uk/glossies/geostoragesfty.pdf>>. Acesso em: out. 2008.
- \_\_\_\_\_. Greenhouse Gas R&D Programme. **Natural Releases of CO<sub>2</sub>**. Disponível em: <<http://www.ieagreen.org.uk/glossies/naturalreleases.pdf>>. Acesso em: out. 2008.
- \_\_\_\_\_. Greenhouse Gas R&D Programme. **A Review of Natural CO<sub>2</sub> Occurrences and Releases and the Relevance to CO<sub>2</sub> Storage**. Report Number 2005/8, September (2005). Disponível em: <<http://www.co2storage.org/Reports/Natural%20Releases%20Report.pdf>>. Acesso em: out. 2008.



IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Greenhouse Gas R&D Programme. **Storing CO<sub>2</sub> Underground**. 2000.

\_\_\_\_\_. **World Energy Outlook 2006**. Disponível em: <<http://eneken.ieej.or.jp/en/data/pdf/371.pdf>>. Acesso em: set. 2008.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. **Climate Change 2001**. Disponível em: <[http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=ajcCLh6oCGkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=IPCC,+2000+Bert+Metz,+Ogunlade+Davidson&ots=Wmhw4K\\_PGv&sig=VCuwxeXwKcut6klv4ksPy0U\\_gYc#PPP7,M1](http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=ajcCLh6oCGkC&oi=fnd&pg=PA1&dq=IPCC,+2000+Bert+Metz,+Ogunlade+Davidson&ots=Wmhw4K_PGv&sig=VCuwxeXwKcut6klv4ksPy0U_gYc#PPP7,M1)>. Acesso em: jun. 2008.

\_\_\_\_\_. **Safeguarding the ozone layer and the global climate system**. 2005. Disponível em: <<http://books.google.com/books?hl=pt-BR&lr=&id=Qf0MVNcQKmqC&oi=fnd&pg=PP13&dq=IPCC,+2005+Bert+Metz,+Lambert+Kuijpers,+Susan+Solomon&ots=5tJ-y4kQ6p&sig=7yCOe3v9a7Cok-G-KtmJgXlf-AI#PPP1,M1>>. Acesso em: jun. 2008.

KETZER, J. M.; CARPENTIER, B.; GALLO, Y. L.; THIEZ, P. L. Geological Sequestration of CO<sub>2</sub> in Mature Hydrocarbon Fields Basin and Reservoir Numerical Modelling of the Forties Field, North Sea. **Oil & Gas Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 259-273, 2005.

KETZER, João Marcelo; VILLWOCK, Jorge Alberto; CAPORALE, Giancarlo et al. **Opportunities for CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage in Brazil: The CARBMAP Project** May 7-10, Pittsburgh, Pennsylvania: Sheraton Station Square, 2007.

LICKS, Leticia Azambuja dos Santos. **Avaliação do processo de captura de dióxido de carbono por absorção química visando a aplicação em termelétricas a carvão no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais). Porto Alegre, mar. 2008.

\_\_\_\_\_. **Avaliação do processo de captura de dióxido de carbono por absorção química visando a aplicação em termelétricas a carvão no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Tecnologia de Materiais). Porto Alegre, mar. 2008.

MAY, Peter H.; LUSTOSA, Maria C.; VINHA, Valéria da. **Economia do meio ambiente: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2003.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Mudanças Climáticas**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: out. 2008.

MIKHAILOVA, Irina. Sustentabilidade: evolução dos conceitos teóricos e os problemas da mensuração prática. **Revista Economia e Desenvolvimento**, n. 16, 2004.

MIT - MASSACHUSSETS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. Laboratory for Energy and the Environment. **Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use**. 2004. Disponível em: <[http://web.mit.edu/coal/working\\_folder/pdfs/encyclopedia\\_of\\_energy.pdf](http://web.mit.edu/coal/working_folder/pdfs/encyclopedia_of_energy.pdf)>. Acesso em: ago. 2008.

\_\_\_\_\_. **The Economics of CO<sub>2</sub> Storage**. Aug. 2003. Disponível em: <[http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE\\_2003-003\\_RP.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE_2003-003_RP.pdf)>. Acesso em: set. 2008.

MOTTA, Ronaldo Seroa da. **Economia Ambiental**. Rio de Janeiro: FGV, 2006.

PEARCE, D. W.; ATKINSON, G. D. Capital theory and the measurement of sustainable development: an indicator of weak sustainability. **Ecological Economics**, v.8, p.106, 1993.

RAVAGNANI, Ana Teresa Gaspar. **Modelagem Tecno economica de Sequestro de CO<sub>2</sub> considerando Injeção em Campos Maduros**. Tese (Doutorado) - Unicamp. Campinas, 2007.

REEVES, Scott R. **Assesmet of CO<sub>2</sub> Sequestration and ECBM Potencial of U.S. Coalbeds**. US Department of Energy Topical Report. Mar. 2003.

REIS, L.; FADIGAS, E., CARVALHO, Cláudio. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. São Paulo: Manoli, 2005.

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: abr. 2008.

SALIM, C. S. **Construindo Planos de Negócios**. 3.ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005.

SASAKI, K. **Carbon Sequestration Technology: current status and future outlook**. IEEJ Publication, Mar. 2004.

SCIENTIF AMERICAN MAGAZINE. **10 Solutions for Climate Change**. Disponível em: <<http://www.sciam.com/article.cfm?id=10-solutions-for-climate-change>>. Acesso em: jul. 2008.

SILVA, Z. R. **Caracterização petrológica e tecnológica das camadas de carvão da jazida**

**de Charqueadas do Rio Grande do Sul.** Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia. Rio de Janeiro, 1984.

SOCOLOW, Robert H.; PACALA, Stephen. A Plan to Keep Carbon in Check. **Scientific American**, Sept. 2007.

UNITED NATIONS. **Framework Convention on Climate Change.** New York, 1992.  
Disponível em: <[http://unfccc.int/kyoto\\_protocol/items/2830.php](http://unfccc.int/kyoto_protocol/items/2830.php)>. Acesso em: 20 ago. 2008.

WOILER, Samsão; MATHIAS, Washington Franco. **Planejamento, Elaboração, Análise.** São Paulo: Atlas, 1996.

WONG, S.; GUNTER, W. D.; LAW, D. et al. **Economics of Flue Gas Injection and CO<sub>2</sub> Sequestration in Coalbed Methane Reservoirs.** Disponível em:  
<<http://lib.kier.re.kr/balpyo/ghgt5/Papers/D4%203.pdf>>. Acesso em: jun. 2008.

### **ARTIGO 3 - ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> EM CAMADAS DE CARVÃO: AVALIAÇÃO ECONÔMICA-FINANCEIRA DE UM PROJETO COMERCIAL DE ECBM NA JAZIDA DE CHARQUEADAS**

#### **RESUMO**

O objetivo deste artigo é determinar a viabilidade econômica da execução de um projeto comercial de Armazenamento Geológico de CO<sub>2</sub> em camadas de carvão, concomitantemente com a extração de Gás Metano da Jazida de Charqueadas, RS. Para tanto se utilizará a construção de cenários, onde serão simulados alterações nos preços de comercialização de gás natural. O cenário base é delimitado com base nos preços do gás metano e do CO<sub>2</sub> correspondente ao mês de novembro de 2008. No que tange a obtenção dos Créditos de Carbono<sup>24</sup>, serão simulados cenários em que sua obtenção é considerada, dessa forma foram adotados os valores vigentes no mês de dezembro de 2008. Para os cenários alternativos são simuladas variações nos valores de comercialização do gás natural sendo possível determinar o ponto de equilíbrio do projeto, de modo a torná-lo economicamente viável.

**Palavras-chave:** Armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>. Viabilidade econômica. Geração de energia limpa. Gás natural. Efeito estufa.

#### **ABSTRACT**

The proposal of this paper is to determine the economic feasibility in the execution of a commercial project for a geological storage of CO<sub>2</sub> in layers of coal concomitantly with the extraction of methane gas from the deposit of Charqueadas, in southern Brazil. The construction of sceneries will be used where the alteration of the price of the commercialization of natural gas will be simulated. The base scenery is delimited based on the methane gas prices and the CO<sub>2</sub> correspondent to the month of November 2008. On what

---

<sup>24</sup> O valor de cada Crédito de Carbono equivale a uma tonelada de CO<sub>2</sub> mitigado.

concerns the attainment of Carbon Credits, sceneries will be simulated when its acquisition is considered. Thus the adoption of the effective values during the month of December 2008. For the alternative sceneries there are simulated variations in the values of the commercialization of natural gas capable of determining the point of equilibrium of the project in a manner to make it economically viable.

**Keywords:** Geological storage of CO<sub>2</sub>. Economic viability. Generation of clean energy. Natural gas. Greenhouse effect.

## 1 INTRODUÇÃO

Novas tecnologias têm sido apresentadas à sociedade para que atendam suas necessidades atuais, de produzir de forma mais eficiente, no que tange a alocação dos recursos e com redução de emissão de Gases de Efeito Estufa (GEE).

Dentre estas novas tecnologias, o processo de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em jazidas de carvão associada à produção de gás natural (Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub> – ECBM-CO<sub>2</sub>) tem apresentado grande potencial para a redução de GEE e de forma concomitante a geração de energia mais limpa<sup>25</sup>.

O presente artigo tem por objetivo a realização de estudo de viabilidade econômico-financeira de ECBM-CO<sub>2</sub> para a Jazida de Charqueadas. Para tanto foi elaborado um memorial técnico descritivo de acordo com as características específicas da jazida, descritivo este indispensável para a realização da viabilidade econômica, dada a importância do dimensionamento dos equipamentos e toda a infra-estrutura necessária para o mesmo.

Por se tratar do armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, foram criados cenários econômicos considerando a possibilidade de obtenção de Créditos de Carbono via Protocolo de Quioto, mesmo tendo conhecimento que neste primeiro período de sua vigência (2008-2012), esta prática não está contemplada como uma das alternativas dos Mecanismos de Flexibilização<sup>26</sup>. Contudo, esta possibilidade vem sendo discutida nas reuniões da Conferência das Partes da

---

<sup>25</sup> O ECBM-CO<sub>2</sub> consiste de forma literal a injeção de CO<sub>2</sub> capturado de fonte estacionária e concomitantemente a extração de gás natural, sendo que o balanço desta atividade, no que tange a emissão de GEE é positivo, pois para cada duas unidades de CO<sub>2</sub> injetados, é extraído uma de gás natural.

<sup>26</sup> Os mecanismos de flexibilização tem objetivo contribuir no cumprimento das metas estabelecidas pelo Protocolo de Quioto de redução de, em média, 5,2% das emissões de GEE no ano de 1990. Para tanto criou três mecanismos: Implementação conjunta, Comércio de Emissões e Mecanismos de desenvolvimento limpo.

Organização das Nações Unidas no intento de inserí-la como passível de aquisição destes créditos, visto que tal receita adicional visa contribuir na viabilidade econômica de projetos de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>.

## **2 ARMAZENAMENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub> EM CAMADAS DE CARVÃO**

O ECBM-CO<sub>2</sub> (Enhanced Coal Bed Methane Recovery with CO<sub>2</sub>) consiste na neutralização das emissões de CO<sub>2</sub> para a atmosfera através de sua injeção em camadas de carvão, e concomitante produção de gás natural. Esse armazenamento é efetivado em depósitos de carvão que são profundos demais para serem minerados, tendo em vista que para o mesmo, esta atividade não se tornaria economicamente viável. A matriz do carvão possui propriedades que adsorvem CO<sub>2</sub> permanentemente e quando o CO<sub>2</sub> é injetado na camada de carvão o mesmo é absorvido, como preferência, para o gás metano (CH<sub>4</sub>), que é liberado, podendo ser produzido como gás livre. Esta tecnologia é conhecida como recuperação avançada de metano em camadas de carvão.

### **2.1 DIMENSIONAMENTO FÍSICO DE PROJETO DE ECBM**

Como já tratado, o processo de ECBM- CO<sub>2</sub> consiste no armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em camadas de carvão e, para que este armazenamento ocorra, são necessários diversos recursos, destacados posteriormente, e dentre eles a perfuração de poços de injeção de CO<sub>2</sub> e de produção de CH<sub>4</sub>, os quais serão tratados primeiramente.

Os poços devem ser quantificados de acordo com as características de jazida, com o volume de metano estimado para a produção e com a disponibilidade de CO<sub>2</sub> para a injeção, dentre outros.

De forma geral, segundo Delft University of Technology Second International Methane Mitigation Conference (n.d.) adotar-se-á a seguinte distribuição: para cada poço de injeção de CO<sub>2</sub>, deverão ser perfurados 04 poços para extração de CH<sub>4</sub>, como é demonstrado nas Figuras 1 e 2:

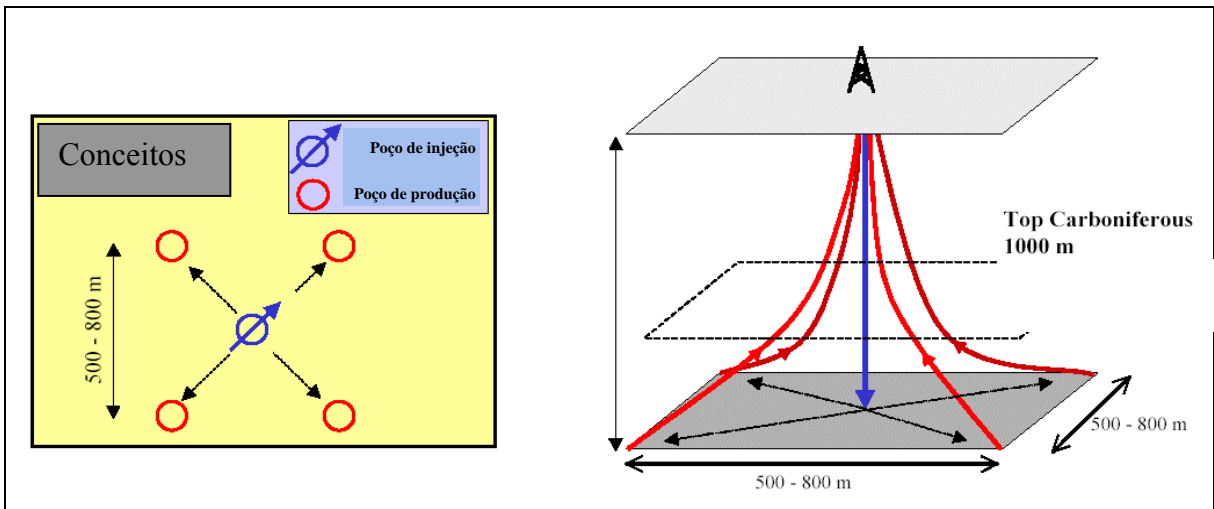


Figura 1 - Estruturação de perfuração de poços de injeção de  $\text{CO}_2$  e extração de  $\text{CH}_4$

Fonte: IEA (2000)

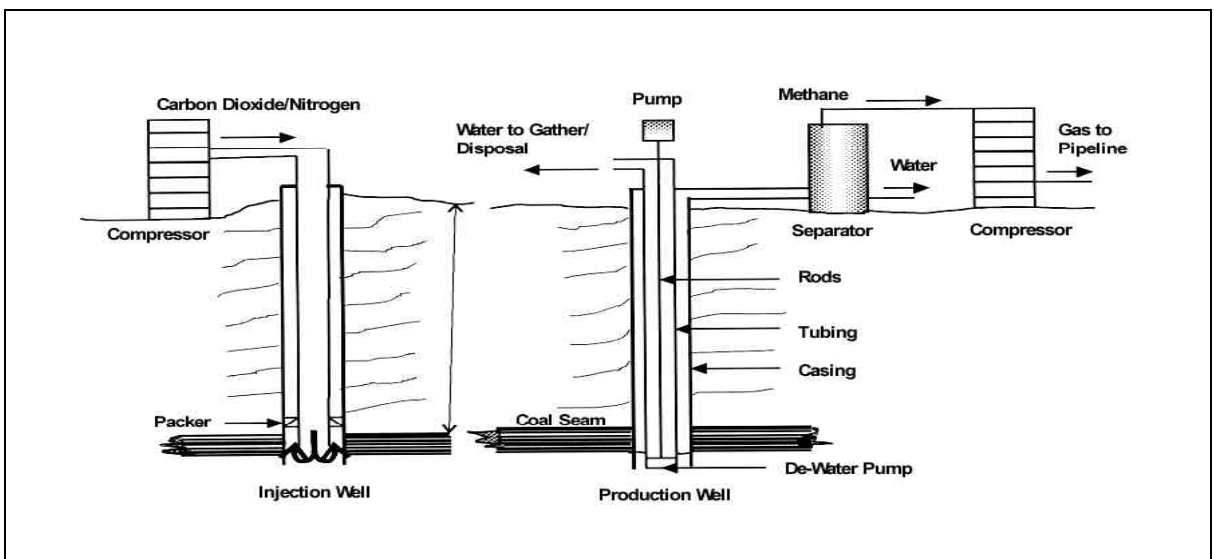


Figura 2 - Detalhe da estrutura de um poço injetor de  $\text{CO}_2$  e de um poço de extração de Gás natural ( $\text{CH}_4$ )

Fonte: IEA (2000)

Na Figura 1 os poços de perfuração para a injeção de  $\text{CO}_2$  estão desenhados em azul, na quantidade de 01 unidade na região central de perfuração; já os poços de extração de gás estão desenhados em vermelho na quantidade de 04, identificando portanto a proporção de 1:4.

A Figura 2 identifica um corte transversal da estrutura de um poço montada para a realização de ECBM-  $\text{CO}_2$  em uma jazida de carvão, onde é possível a visualização dos poços

de injeção de CO<sub>2</sub> e de extração de CH<sub>4</sub>. Sendo que juntamente com o poço de injeção a verifica-se a presença de um compressor, responsável por manter a pressão necessária para que o CO<sub>2</sub> chegue à camada de carvão. No poço de extração de CH<sub>4</sub> verifica-se a presença de uma bomba sucção, que é responsável pela extração do gás natural que será posteriormente comercializado.

Dessa maneira, tendo como objetivo a elaboração desta atividade para a Jazida de Charqueadas, torna-se primordial a sua descrição detalhada. A Jazida de Carvão de Charqueadas, segundo Silva (1984), possui recursos totais de 2.994 milhões de toneladas de carvão, sendo 1140,5 milhões de toneladas em profundidades superiores a 300 metros (DNPM/CPRM).

Destaca-se aqui que, os locais para o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> em camadas de carvão, devem ser a profundidades superiores a 300m, de acordo com Ketzer (2006), o que na maioria dos casos torna economicamente inviáveis sua mineração, ficando, portanto, sem exploração.

Considerando os recursos de carvão mencionados e os valores conservadores de adsorção de 2,5m<sup>327</sup> de metano por tonelada de carvão obtêm-se para a jazida de Charqueadas um volume aproximado de 5,702 bilhões de m<sup>3</sup> de metano.

Destarte, considera-se a fonte estacionária fornecedora de CO<sub>2</sub> para esta atividade e também a futura consumidora do gás produzido, o Pólo Petroquímico de Triunfo devido sua proximidade da jazida de Charqueadas. Como pode ser observado na Figura 3. Verificou-se ainda, que o consumo atual do Pólo Petroquímico de gás natural para geração de energia, é de aproximadamente 220 mil m<sup>3</sup>/dia, e somente o metano contido na jazida de Charqueadas, este poderia abastecer o Pólo Petroquímico de Triunfo por 39 anos, o que potencialmente, evitaria a emissão de 11 milhões de toneladas de CO<sub>2</sub>.

---

<sup>27</sup> m<sup>3</sup> : metro cúbico



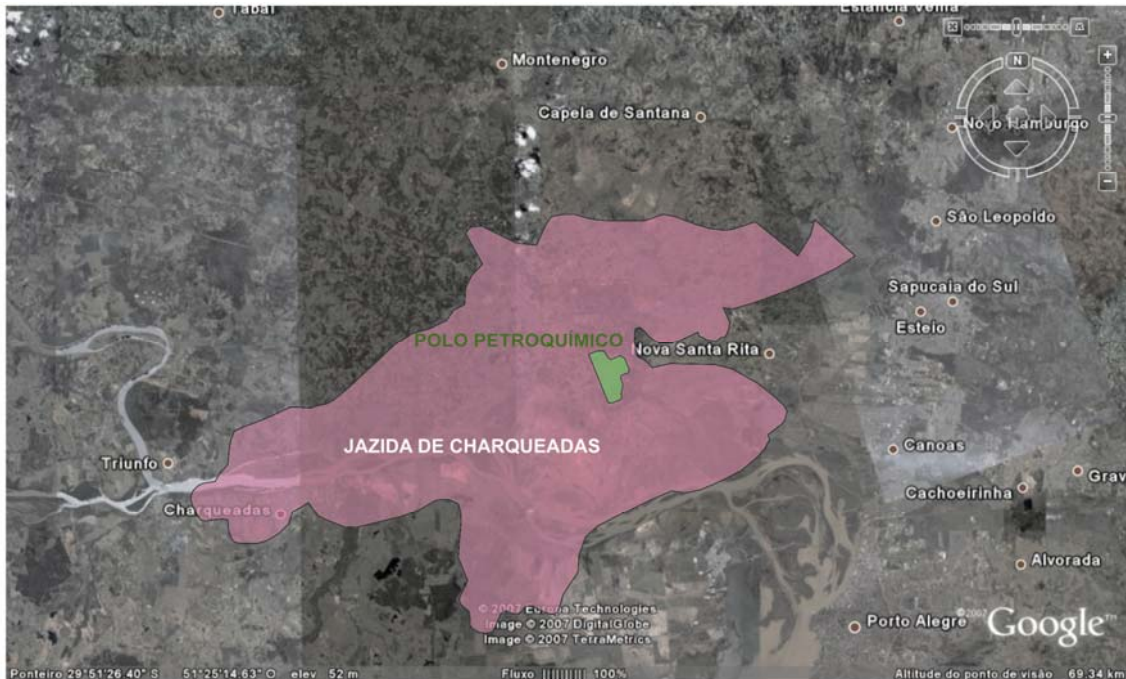


Figura 3 - Mapa Jazida de Charqueadas e da localização do Pólo Petroquímico

Fonte: Google Maps

Atualmente, segundo Ketzer e Heemann (2008), a disponibilidade de CO<sub>2</sub> para ser capturado e injetado na jazida de Charqueadas é de 1 Mt de CO<sub>2</sub>/ano, o que equivale a 2.740 toneladas de CO<sub>2</sub> dia, transformando estas medidas em volume temos uma disponibilidade anual de 507.350.000 m<sup>3</sup> de CO<sub>2</sub> e um volume diário de 1.390.000 m<sup>3</sup>.

As informações técnicas, no que diz respeito às características do carvão da jazida de Charqueadas, são elencadas no Quadro 1 e embasadas em Ketzer e Heemann (2008), as quais serão adotadas para a análise econômica do projeto modelo.

<i>Jazida de Charqueadas</i>	
Volume de Carvão	5,702 bcm
Classificação do Carvão	sub-betuminoso
Profundidade	350 m
Permeabilidade	10 mD
Taxa de Injeção	50 Mcfd/ft de carvão
Gás de Injeção	100% CO <sub>2</sub>
Pressão	1.9 bcf
Tempo de Injeção	Contínuo
Inclinação de injeção	0.7 psi/ft
Eficiência do Compressor	90%
Gravidade Especifica do Gás	0.6 (ar = 1.0)
Emissões de CO <sub>2</sub> das bombas e compressores	12 tons/yr/BHP <sup>12,13</sup>

Quadro 1 – Exigências e informações técnicas da Jazida de Charqueadas para realização de ECBM-CO<sub>2</sub>

Fonte: Adaptado de MIT (2003), Wong, Gunter, Law (s.d.), Reeves (2003) e Ketzer e Heemann (2008).

Inicialmente será considerado um volume de aproximadamente 5,702 bilhões de metros cúbicos de metano, o qual poderá ser alterado no curso do projeto dependendo das características intrínsecas de carvão após o início do processo de injeção do CO<sub>2</sub>. As características da jazida que podem causar tais alterações são:

- a) Capacidade de adsorção
- b) Porosidade (gás livre)
- c) Geologia - história estrutural do soterramento do reservatório
- d) Geração e migração do gás - testes padrões estruturais da geologia (sistemas de falhas e fraturas).

Da execução do projeto de ECBM-CO<sub>2</sub>, Wong, Gunter, Law (s.d.) destacam que as premissas técnicas devem ser cuidadosamente elencadas por impactar diretamente na elaboração do projeto de viabilidade econômica, visto que representam despesas de implementação.

## 2.2 PREMISSAS TÉCNICAS – ECBM NA JAZIDA DE CHARQUEADAS

A Proposta de ECBM-CO<sub>2</sub> para a jazida de Charqueadas terá como fonte estacionária fornecedora do CO<sub>2</sub> o Pólo Petroquímico de Triunfo, o qual fornecerá nesse projeto 500.000 toneladas de CO<sub>2</sub> anualmente e, tendo como pressupostos os itens elencados a seguir e apresentados de forma concisa na Tabela 2:

- a) O custo de capturar e separar os gases de queima para a obtenção do CO<sub>2</sub> puro será de U\$\$ 40,00 por tonelada (CDM, 2007) o que equivale a R\$ 90,80 /tonelada.
- b) De acordo com as características elencadas da jazida de carvão de Charqueadas e de acordo com exploração de dados de literatura, para cada duas unidades de volume<sup>28</sup> de CO<sub>2</sub>, extrai-se uma unidade de volume de CH<sub>4</sub>, proporção de 2:1; (AGRAWAL, 2007).
- c) O volume máximo de extração de CH<sub>4</sub> por poço é de 3.507 mil metros cúbicos a uma profundidade de 350m do solo;
- d) A distância entre a fonte de CO<sub>2</sub> -o Pólo Petroquímico- e o local de injeção do CO<sub>2</sub> - a Jazida de Charqueadas- é de 50km;
- e) Dadas às limitações de fornecimento de CO<sub>2</sub>, adotar-se-á nesse projeto o consumo de 0,5 Mt<sup>29</sup> CO<sub>2</sub>/ano, dessa forma será possível a extração máxima de 350.694m<sup>3</sup> de CH<sub>4</sub> dia.
- f) Dado o volume de CO<sub>2</sub> a ser injetado, serão necessários 25 poços de injeção.
- g) O número total de poços de extração para se atingir esta quantidade de produção com a disponibilidade de 0,5 Mt CO<sub>2</sub>/ano é de 100, obedecendo a proporção de 1:4, devendo este ser calculado através da divisão da capacidade máxima a ser produzida e capacidade individual de cada poço.

---

<sup>28</sup> A unidade para utilização da razão de 2 unidades de CO<sub>2</sub> e retirada de 1 unidade de CH<sub>4</sub> é de metros cúbicos, portanto tem-se que realizar a transformação de toneladas para metros cúbicos. A conversão de toneladas para metros cúbicos foi realizada considerando a densidade do CO<sub>2</sub> gasoso de 1,98 kg/m<sup>3</sup>, logo 1 tonelada de CO<sub>2</sub> equivale a 505 m<sup>3</sup>

<sup>29</sup> Mt: milhões de toneladas

<b>Parâmetros</b>	<b>Und.</b>	<b>Valor</b>
Eficácia do CO2	scm/scm	2
CBM por poço	scm retirado CBM/dia/poço	3.507
Preço do Gás	R\$/10 <sup>6</sup> BTU	
Profundidade	m	350
Distancia Dutos	km	200
Total CBM Produzido	milhões scm retirado CBM/dia	0.3506
Poços de ¼	100	
Poços de CO2	25	
Novo CO2	scm/dia/poço	28.055
Compressor	Bar	4.5
<i>Cálculo do número de poços:</i>	<i>100</i>	

Quadro 2 - Parâmetros do cálculo do número de poços para o projeto ECBM na jazida de Charqueadas

Fonte: Modificado de Reeves (2003) e MIT (2003) adaptado pela autora

As demais premissas técnicas para a elaboração dos custos pré-operacionais, tendo como base para o cálculo o número de poços e sua capacidade de extração diária, foram dimensionados de acordo com as características da jazida de Charqueadas e da quantidade de CO<sub>2</sub> disponível para a injeção. Dessa forma e de posse das premissas elencadas anteriormente, estes dados foram compilados e descritos na Tabela 1, os quais serão tratados individualmente como segue.

Tabela 1 - Descritivo e orçamentário de componentes físicos para a instalação do Projeto de ECBM- CO<sub>2</sub> – Jazida de Charqueadas

<b><u>Despesas Pré-Operacionais</u></b>	<b><u>Valor Und.</u></b>	<b><u>Qtde</u></b>	<b><u>Und</u></b>
<b><u>Equipamentos de Captura e Separação de Gases</u></b>			
Custo do CO <sub>2</sub> capturado e pressurizado para injeção	90,80	500.000	t.
<b><u>Equipamentos de Injeção</u></b>			
Perfuração de poços para injeção de CO <sub>2</sub>	56.750,00	25	un.
Compressor Boost	238.350,00	3	un.
Cabeça de poço	12.608,00	25	un.
Dutos de Distribuição de CO <sub>2</sub>	45.400,00	50	un.
Serviços elétricos	99.673,00	3	un.
<b><u>Equipamentos de Produção</u></b>			
Perfuração de poços para extração de CH <sub>4</sub>	56.750,00	100	un.
Dutos	6.800.000,00	150	km
Bombas	8.898,00	10	un.
Maquinas de Bombeamento	77.180,00	10	un.
<b><u>Sistema de Distribuição</u></b>			
Dutos de escoamento entre os poços do módulo	96.375,00	10	un.
Compressor gathering	238.350,00	10	un.
Compressor de Gás final	9.011.900,00	1	un.
<b><u>Equipamentos Alugados</u></b>			
Tanques de armazenamento	86.941,00	1	un.
Equipamentos acessórios	40.613,00	5	un.
Separador de Gases	28.148,00	5	un.
<b><u>Mão de Obra PRÉ-OPERACIONAL</u></b>			
Engenheiro (4)	18.000,00	13	un.
Técnico (8)	16.000,00	13	un.
Operadores (8)	16.000,00	13	un.
Supervisores (2)	18.000,00	13	un.
<b><u>Outras despesas Pré Operacionais</u></b>			
Manutenção	61.703,00	13	un.
Operadores (8)	16.000,00	13	un.
Equipamentos acessórios	16.035,00	13	un.
Outros	6.315,00	13	un.

Cabe ressaltar, que de forma bem sucinta, o processo de ECBM-CO<sub>2</sub>, é composto de três etapas: captura de gases de exaustão e separação do CO<sub>2</sub>, transporte e armazenamento de CO<sub>2</sub>. Sendo assim, seguindo o fluxograma da atividade, serão apresentados os custos de execução de todo o processo.

No que tange ao processo de captura e separação de gases, foi considerado o custo desta atividade por tonelada de CO<sub>2</sub> puro e pronto para a injeção, este no valor de U\$\$ 40.00/t (CDM, 2007), o equivalente a R\$ 90,80, convertidos em 17 de novembro de 2008.

A perfuração dos poços será realizada a uma profundidade de 350m, obedecendo a proporção de 1:4, com diâmetro de perfuração de 0,20m, e tendo capacidade anual de transportar até 2 Mt CO<sub>2</sub>/ano. Nos custos de perfuração dos poços estão inclusos os valores com mão-de-obra, material, gastos diversos durante a construção e perdas. A média indicada, segundo Agrawal (2007) é de 5% dos custos totais. Sendo assim, serão perfurados 25 poços para a injeção de CO<sub>2</sub> e 100 poços para a extração de metano.

Os compressores se fazem presentes nesse processo nos poços de injeção e de produção. Nos poços de injeção, o CO<sub>2</sub> precisa de uma pressão de 4.5 bar para que chegue a profundidade pré-determinada, garantindo portanto, a adsorção pelo carvão. Cabe destacar que o custo de compressão inicial do gás separado está embutido no valor cotado do CO<sub>2</sub> puro (que será injetado na camada de carvão). Logo, no momento da injeção do mesmo nos respectivos poços, um compressor para cada 10 poços perfurados será instalado, totalizando 03 unidades de compressores Boost. Seguindo a mesma proporção para os poços de produção de gás natural, serão implantadas 10 unidades de compressores Gathering.

Um terceiro compressor se faz necessário, no final de todo o processo de produção de gás natural, onde este irá comprimi-lo para a distribuição nos dutos destinados a venda do produto final, na quantidade de 01 unidade.

Os dutos a serem utilizados, tanto para o transporte de CO<sub>2</sub>, como para a distribuição/venda do gás natural, tem diâmetro de 0,20m e capacidade de transporte diário em volume de 2 milhões de toneladas por ano. O custo apresentado por Ravagnani (2007) para cada 1km de duto é de aproximadamente R\$ 45.400,00, sendo os custos de manutenção e monitoramento por km de duto instalado de aproximadamente R\$ 7.000,00.

O projeto proposto será responsável pela injeção de 0,5 Mt CO<sub>2</sub>/ano, dessa forma essas características do duto atingem a demanda atual. Salienta-se que os custos de construção dos dutos são diretamente proporcionais ao aumento de seu diâmetro, tendo em vista que a capacidade disponível de CO<sub>2</sub> para transporte e de produção de gás nesse projeto não

ultrapassarão a 2 milhões de toneladas/ano, optando-se, assim, por esta de 0,2 m de diâmetro.

No que tange a quilometragem computada para os dutos de 200 km, ela é assim composta:

- a) 50 km – distância da fonte de CO<sub>2</sub> (Pólo Petroquímico de Triunfo) e do local de armazenamento (Jazida de Charqueadas)
- b) 50 km – distância do local de produção de gás natural até o Pólo Petroquímico de Triunfo.
- c) 100 km – distância do local de produção de gás natural até Porto Alegre.

As bombas e os equipamentos para bombeamento que fazem a produção de CH<sub>4</sub>, deverão funcionar ininterruptamente, assim como, a injeção de CO<sub>2</sub> nos respectivos poços de injeção. As características das bombas a serem adquiridas no processo são elencadas no Anexo C, sendo que para cada 10 poços de produção de gás, serão disponibilizadas 1 bomba e 1 máquina de bombeamento, conforme descrito pelo MIT (2003).

Outros equipamentos serão alugados, apesar de serem de uso contínuo até o esgotamento da jazida, seguindo referencial bibliográfico apresentado pelo relatório do MIT (2003). Para a quantificação destes equipamentos alugados, utilizou-se um conjunto de 20 poços para cada unidade destes. Como serão perfurados 100 poços de extração de gás natural serão necessários 05 separadores de gases, 01 tanque de armazenamento e 05 quites de equipamentos acessórios (que incluem medidor de gases, ventosas e substituição de materiais danificados), descritos no Anexo D.

A mão-de-obra pré-operacional foi composta para cada grupo de 10 poços perfurados, de forma que cada equipe é formada por 04 engenheiros, 08 técnicos, 08 operadores e 02 supervisores. Como serão perfurados no total 125 poços, será, portanto, necessária a contratação de 13 equipes.

### **3 ANÁLISE FINANCEIRA**

Na análise da viabilidade econômico-financeira foram utilizadas algumas premissas obtidas através de dados do mercado e de bibliografia especializada, como o Relatório do MIT (2003) e CDM (2007), dentre outros estudos de orçamento e quantificação de materiais, os quais foram dimensionados para a execução na Jazida de Charqueadas. Todavia, esse não

pode ser considerado como um projeto fechado, estando sujeito a ajustes e adequações no decorrer de sua execução.

Dado que todos os equipamentos discriminados nas planilhas financeiras são importados e cotados originalmente em dólar americano, estes foram convertidos para a moeda nacional (Real), onde a taxa de câmbio considerada foi de R\$ 2,27 por dólar (Banco Central do Brasil, 17/11/2008).

Sendo assim procedido, tem-se o investimento total do Projeto na ordem de R\$ 132.000.000,00, e neste caso, considerando a origem de seu aporte capital como próprio, ou seja, da empresa executora do projeto.

O fluxo de caixa projetado foi para o período de 15 anos, sendo este adotado em função dos prazos médios usuais para análise de projetos com perfil semelhante ao presente, considerado como industrial.

### 3.1 RECEITAS

As receitas advindas deste projeto serão provenientes da venda do gás natural, gerado no final do processo de ECBM-CO<sub>2</sub>, e da venda de Créditos de Carbono. No entanto, o valor que se considera para a análise de resultados é o valor obtido da Receita Líquida. Para a obtenção do valor da Receita Líquida do Projeto de ECBM-CO<sub>2</sub> na jazida de Charqueadas, foram adotadas as seguintes premissas:

a) **Receitas Operacionais:** São as receitas geradas no início das atividades operacionais do processo. No presente estudo as receitas auferidas são advindas da produção e comercialização de gás e da obtenção de créditos de carbono, esta última está sendo considerada devido a potencialidade de este projeto vir a integrar os mecanismos de flexibilização.

As receitas advindas da produção de gás começarão a ser geradas, a princípio, no início do primeiro semestre do quarto ano do início das atividades, visto que o tempo de maturação do processo até que seja extraído o gás, em média é 12 meses após início de injeção de CO<sub>2</sub>, segundo Agrawal (2007).

As receitas advindas da injeção de CO<sub>2</sub>, e com isto a obtenção de créditos de carbono se inicia no primeiro semestre do terceiro ano, quando a infra-estrutura necessária para a realização da mesma já estará finalizada. Não obstante, no cenário em que é considerada a



obtenção de Créditos de Carbono, não se pode deixar de destacar que devido ao chamado pênalti de geração de GEE da extração de gás natural deve-se deduzir o mesmo, que foi considerado neste trabalho no valor de 30%<sup>30</sup> do valor total injetado de CO<sub>2</sub>, a partir do momento em que o processo de extração de gás se inicia, podendo ser visualizado na Tabela 2:

Tabela 2 - Projeção da evolução das receitas

CRESCIMENTO RECEITAS	1 Sem./		2 Sem./		1 Sem./		2 Sem./		Ano 5	Ano 6	Ano 7
	Ano 1	Ano 2	Ano 3	Ano 3	Ano 4	Ano 4					
Produção Gás	-	-	-	-	80%	80%	90%	100%	100%		
Créditos de Carbono	-	-	100%	100%	70%	70%	70%	70%	70%		

b) **Deduções da Receita Bruta:** as deduções da Receita Bruta para o presente projeto representam o somatório dos tributos incidentes da comercialização direta dos produtos, notadamente ICMS, PIS e COFINS. Utilizou-se a alíquota média de 15% para o ICMS e de 3,65% para PIS/COFINS. Os tributos que compõem as deduções da Receita Bruta incidem diretamente sobre esta.

c) **Despesas Operacionais:** também consideradas como administrativas, foram projetadas mediante dados de bibliografia (CDM, 2007), que consideram apenas o monitoramento, este no valor de 2% sobre o valor dos equipamentos. O valor total de máquinas e equipamentos totaliza R\$ 23.330.180,00, nesse sentido, estes valores foram calculados à medida que os equipamentos foram adquiridos ao longo da implantação do projeto.

d) **Imposto de Renda e Contribuição Social:** incidentes sobre a operação do projeto, foram calculados com base na tributação do Lucro Presumido, sendo aplicado 8% sobre a Receita Bruta, incidindo sobre esta base as alíquotas de 9% para CSLL, 15% para IR acrescidos de 10% sobre o valor da base que exceder R\$ 240.000,00 /ano.

e) **Re Investimentos em Ativo Permanente:** além das despesas de implantação já apresentadas, foram projetados nessa análise, um investimento anual equivalente à despesa de depreciação, como forma de anular o efeito à capacidade produtiva, preservando a capacidade instalada do período de projeção.

<sup>30</sup> O valor de desconto de 30% foi obtido através do cálculo que determina que para cada unidade de volume de CH<sub>4</sub>, são liberadas ¼ desse valor em CO<sub>2</sub> após sua conversão em massa.

Outro vetor de suma importância no cálculo dos resultados financeiros de um projeto é o valor a ser adotado para a Taxa de Desconto.

A taxa de desconto correta é um dos principais determinantes na avaliação dos resultados de viabilidade. Para tanto, de acordo com Ravagnani (2007), assumiu-se uma taxa de desconto de 12%, pois esta reflete o custo de oportunidade de investir neste projeto, dado que o Banco Mundial utiliza taxas de desconto entre 8% e 12 % para empréstimos á países em desenvolvimento.

### 3.2 INDICADORES ECONÔMICOS

Para efeitos de conclusão desta análise, foram selecionados os indicadores comumente utilizados em estudos de viabilidade econômico-financeiros. São eles, de acordo com Casarotto Filho e Kopittke (2000):

**VPL - Valor Presente Líquido:** utilizado para determinar o valor presente de uma série de recebimentos (FCL), descontados a uma determinada taxa de desconto (TMA). Em síntese, representa o retorno, em valores, obtido com um projeto após o período projetado (no presente caso, após 15 anos).

**TIR - Taxa Interna de Retorno:** é a taxa que iguala os valores das entradas (Fluxo de Caixa Livre) ao das saídas, ou seja, que iguala os Fluxos de Caixa Livres da Empresa à zero. Ela é calculada para comparação com a Taxa Mínima de Atratividade utilizada (Taxa de Desconto). Sempre que a  $TIR > TMA$ , o projeto é economicamente viável.

**Pay-Back Simples:** representa, na forma de “período de tempo”, quando o valor investido no projeto retornará para o investidor. Ou seja, é o momento a partir do qual os resultados positivos poderão ser entendidos como “lucro”.

**Pay-Back Descontado:** mesmo conceito do indicador anterior, porém, neste caso, é considerada a Taxa de Desconto dos Fluxos de Caixa do Projeto. O Pay-Back Descontado será sempre maior (em termos de período de tempo) do que o Pay-Back Simples.

### 3.3 PREMISSAS DA CRIAÇÃO DOS CENÁRIOS

Com base na evolução de preços brasileiros do m<sup>3</sup> do gás natural destinado à indústria, segundo dados da Agência Nacional do Petróleo (ANP, 2008), adotou-se para o cenário base, o valor de R\$ 0,75 o metro cúbico do gás, preço vigente em novembro de 2008 para os consumidores deste setor, os quais demandam mais de 200 mil metros cúbicos de gás/dia.

Neste cenário base, foram simulados os valores para os indicadores econômicos em dois momentos: com a obtenção dos Créditos de Carbono e sem a obtenção dos créditos.

Concomitantemente, foram criados cenários alternativos, em que se realizou projeções de elevação dos preços do gás, baseados nos dados obtidos na ANP, em que para os últimos 6 anos a variação média anual foi de 16%.

Dessa forma utiliza-se uma taxa de variação conservadora, visto que esta atividade pode ser vislumbrada sob a ótica da segurança energética, pois o gás que é consumido no Pólo Petroquímico é advindo da Bolívia, além de questões que recentemente fizeram parte de uma realidade preocupante, o rompimento do gasoduto RS/SC que paralisou temporariamente o abastecimento de gás no estado do RS, causando prejuízos aos mais variados setores produtivos e prestadores de serviço. Sendo assim o valor final do gás no cenário 06 foi de R\$ 1,58 o metro cúbico.

Utilizar-se-á no que tange a produção de gás, o pressuposto de que este será constante até o final do projeto a partir do momento em que atingir sua capacidade de 100%, sendo essa produção anual em torno de 126.249.840,00m<sup>3</sup>. Tal premissa será adotada no intuito de facilitar os cálculos, dado que a curva de produção de gás por injeção de CO<sub>2</sub> na jazida de Charqueadas não foi elaborada. Nestes cenários alternativos, também se utilizou a análise em que é considerada a obtenção dos Créditos de Carbono como uma segunda fonte de receita.

Embasado nas informações do *European Climate Exchange*, o valor do Crédito de Carbono por tonelada empregado foi de R\$ 53,29, publicado no jornal Valor Econômico, datado em 28/10/2008.

As principais variáveis analisadas foram o descritivo físico, indicando o custo do investimento, a remuneração do gás natural destinado à indústria e o valor dos Créditos de Carbono. No que tange aos Créditos de Carbono, uma importante ressalva precisa ser feita, em relação ao Protocolo de Quioto. A primeira fase do Protocolo (2008-2012) não prevê a obtenção de Créditos de Carbono à atividade de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, no entanto, este assunto vem sendo pauta de discussões nas reuniões da Conferência das Partes,

com o objetivo de permitir que tal atividade seja passível de obtenção de Créditos, já que pode vir a ser a responsável pela mitigação, a nível mundial, de 20% do total de CO<sub>2</sub> emitido para a atmosfera, segundo IPCC (2005).

A modelagem construída inclui seis cenários distintos descritos no Tabela 3, sendo que para cada um deles será simulada a Receita Bruta com e sem a obtenção dos Créditos de Carbono. Os valores calculados, nas projeções, como destacado anteriormente, foram realizados com base nos dados da ANP, que verificou um aumento médio anual de 16% entre os anos de 2002 e 2007 nos preços do gás natural destinado à indústria.

Dessa maneira, realizou-se a criação de 06 cenários, utilizando para tanto a variação dos preços do gás, com objetivo de identificar à partir de que momento e de qual preço do mesmo o projeto se tornaria economicamente viável. Sendo assim, foram gerados os primeiros resultados, que estão compilados na Tabela 3.

Tabela 3 - Cenários

<i>Cenários</i>	<i>Preço m<sup>3</sup> Gás R\$</i>	<i>Preço do Crédito de Carbono – R\$</i>	<i>Receita Anual sem Créditos - R\$</i>	<i>Receita Anual com Créditos - R\$</i>
<i>Cenário 1</i>	0.75	53.29	94.687.380.00	96.241.796.01
<i>Cenário 2</i>	0.87	53.29	109.837.360.80	111.391.776.81
<i>Cenário 3</i>	1.08	53.29	136.349.827.20.	137.904.243.21
<i>Cenário 4</i>	1.17	53.29	147.797.152.69	149.351.568.70
<i>Cenário 5</i>	1.36	53.29	171.444.697.12	172.999.113.13
<i>Cenário 6</i>	1.58	53.29	198.875.848.66	200.430.264.67

De posse destes primeiros resultados, elaborou-se o cálculo dos indicadores econômicos, sendo que entre as variações de preço dos cenários 01 a 04, os indicadores encontrados mostraram que o projeto se apresenta como economicamente inviável. Logo, foram então disponibilizados para análise, somente os resultados encontrados para o Cenário 01 (cenário base), o Cenário 03 (valor médio das variações do preço do gás) e os resultados dos Cenários 05 e 06. Tal artifício foi utilizado visto que, no cenário 05 o projeto apresenta resultados que indicam que o projeto é economicamente viável, porém somente quando considerada a obtenção dos créditos de carbono. Contudo, no intuito de buscar a viabilidade econômica do projeto sem contar com a obtenção dos créditos de carbono, elencou-se os

resultados do cenário 06, dado que tal atividade ainda não é contemplada dentre os mecanismos de flexibilização via Protocolo de Quioto, não sendo, portanto, passível de obtenção destes créditos.

Dados estes pressupostos, foram obtidos os seguintes Indicadores Econômicos que serão analisados individualmente:

Tabela 4 - Resultados dos indicadores econômicos por cenário

<i>Indicadores Econômicos</i>	<i>Taxa Desconto</i>	<i>Pay-Back Simples</i>	<i>Pay-Back Descontado</i>	<i>VPL</i>	<i>TIR</i>
<i>Cenário 1 com créditos</i>	<i>12%</i>	<i>9.51</i>	<i>38</i>	<i>-107.796.061.00</i>	<i>2%</i>
<i>Cenário 1 sem créditos</i>	<i>12%</i>	<i>21.63</i>	<i>73.58</i>	<i>-167.382.006.00</i>	<i>-5%</i>
<i>Cenário 3 com créditos</i>	<i>12%</i>	<i>8.76</i>	<i>16.51</i>	<i>-13.282.920.00</i>	<i>10%</i>
<i>Cenário 3 sem créditos</i>	<i>12%</i>	<i>10.84</i>	<i>25.49</i>	<i>-72.868.860,00</i>	<i>6%</i>
<i>Cenário 5 com créditos</i>	<i>12%</i>	<i>7.38</i>	<i>11.04</i>	<i>55.453.910.00</i>	<i>16%</i>
<i>Cenário 5 sem créditos</i>	<i>12%</i>	<i>8.58</i>	<i>15.42</i>	<i>-4.132.036.00</i>	<i>11%</i>
<i>Cenário 6 com créditos</i>	<i>12%</i>	<i>6.5</i>	<i>8.64</i>	<i>129.918.809,00</i>	<i>21%</i>
<i>Cenário 6 sem créditos</i>	<i>12%</i>	<i>7.29</i>	<i>10.57</i>	<i>70.332.863.00</i>	<i>17%</i>

### 3.4 ANÁLISE FINANCEIRA

#### **CENÁRIO 1:**

Neste cenário, aqui considerado o cenário base, foi adotado para elaboração dos indicadores de viabilidade econômico-financeira o preço do m<sup>3</sup> do gás natural de R\$ 0,75, preço vigente em dezembro de 2008, e o valor do Crédito de Carbono por tonelada de R\$ 53,29, conforme European Climate Exchange.

Considerando a produção anual de 126.249.840,00m<sup>3</sup> de gás e a geração de 350.028<sup>31</sup> Créditos de Carbono, tem-se como Receita Bruta Anual o valor de R\$ 96.241.796,01. Desconsiderando a obtenção dos Créditos de Carbono a Receita Bruta Anual será de R\$ 94.687.380,00.

O fluxo de Caixa do projeto foi estimado anualmente através da dedução das entradas (receitas com a venda do gás natural produzido e da possível obtenção de Créditos de Carbono) as despesas pré-operacionais, as despesas operacionais e os impostos.

Os resultados obtidos indicam que o fluxo de caixa atingiu resultados positivos, os quais são representados pelo Pay back simples, a partir da geração da caixa operacional em 9,51 anos – com Créditos de Carbono, e em 21,63 anos de atividade sem Créditos de Carbono.

O Pay back acumulado indica em que data o fluxo de caixa do projeto, começa dar resultado positivo, se diferenciando do pay back simples, por considerar nos seus cálculos a taxa de desconto, nesse projeto sendo considerada de 12% ao ano. Dessa maneira o Projeto atinge resultados positivos em seu fluxo de caixa a partir de 38 anos - com Créditos de Carbono e 73,58 anos de atividade sem a obtenção dos Créditos.

O VPL é o resultado econômico, o lucro econômico descontado do Projeto, esse trazido a Valor Presente, com o objetivo de calcular o retorno do capital investido, além do aportado inicialmente. Neste cenário o fluxo de caixa não foi capaz de atingir um valor positivo no período de 15 anos, demonstrando que o projeto é economicamente inviável, tanto considerando a obtenção de Créditos de Carbono como sem os Créditos.

“A taxa de retorno esperada e oferecida por outros ativos com risco equivalente ao do projeto em avaliação” (BREALEY; MYERS, 1992, p. 82), devem ser comparadas com a taxa de desconto, taxa que iguala todos os fluxos de caixa ao longo do período projetado a zero, esta representa a maior taxa possível para que esses fluxos sejam efetivamente iguais a zero. De um modo geral a TIR tem que ser maior que a taxa de desconto, e neste cenário ela não é.

---

<sup>31</sup> O valor anual de créditos de carbono foi obtido através do cálculo CO<sub>2</sub> anual disponível para injeção, que é de 500 mil toneladas, desse valor foi deduzido 30%, que é considerado o pênalti energético da produção de gás natural através de ECBM-CO<sub>2</sub>.

### **CENÁRIO 3:**

No cenário três foi adotado para elaboração dos indicadores de viabilidade econômico-financeira o Preço do m<sup>3</sup> do gás natural de R\$ 1,08 e o valor do Crédito de Carbono por tonelada de R\$ 53,29.

Considerando a produção anual de 126.249.840,00m<sup>3</sup> de gás e a geração de 350.028 Créditos de Carbono, tem-se a Receita Bruta Anual do projeto no valor de R\$ 137.904.243,21. Desconsiderando a obtenção dos Créditos de Carbono a Receita Bruta Anual será de R\$136.349.827,20.

O fluxo de Caixa do projeto foi estimado anualmente através da dedução das entradas (receitas com a venda do gás natural produzido e da possível obtenção de créditos de carbono) as despesas pré-operacionais, as despesas operacionais e os impostos.

Os resultados obtidos indicam que o fluxo de caixa atingiu resultados positivos, os quais são representados pelo pay back simples, a partir da geração da caixa operacional é de 8,76 anos – com Créditos de Carbono, e 10,84 anos de atividade sem Créditos de Carbono.

O Pay back acumulado indica em que data o fluxo de caixa do projeto, começa dar resultado positivo, se diferenciando do pay back simples, por considerar nos seus cálculos a taxa de desconto de 12% ao ano. Dessa maneira o Projeto atinge resultados positivos em seu fluxo de caixa a partir de 16,51 anos - com Créditos de Carbono e 25,49 anos de atividade sem a obtenção dos Créditos.

O VPL é o resultado econômico, o econômico descontado do Projeto, esse trazido a Valor Presente, com o objetivo de calcular o retorno do capital investido, além do aportado inicialmente. Neste cenário o fluxo de caixa não foi capaz de atingir um valor positivo mostrando que o projeto é economicamente inviável, tanto com como sem a obtenção dos Créditos.

Neste Cenário 03, a TIR, assim como no cenário 01, é inferior á taxa de desconto.

## **CENÁRIO 5:**

No cenário cinco foi adotado para elaboração dos indicadores de viabilidade econômico-financeira o Preço do m<sup>3</sup> do gás natural de R\$ 1,36 e o valor do Crédito de Carbono por tonelada de R\$ 53,29.

Considerando a produção anual de 126.249.840,00m<sup>3</sup> de gás e a geração de 350.028 Créditos de Carbono, tem-se a Receita Bruta Anual do projeto no valor de R\$ 172.999.113,13. Desconsiderando a obtenção dos créditos de carbono a Receita Bruta Anual será de R\$ 171.444.697,12.

O fluxo de Caixa do projeto foi estimado anualmente através da dedução das entradas (receitas com a venda do gás natural produzido e da possível obtenção de Créditos de Carbono) as despesas pré-operacionais, as despesas operacionais e os impostos.

Os resultados obtidos indicam que o fluxo de caixa atingiu resultados positivos, os quais são representados pelo pay back simples, a partir da geração da caixa operacional é de 7,38 anos – com Créditos de Carbono, e 8,58 anos de atividade sem Créditos de Carbono.

O Pay back acumulado indica em que data o fluxo de caixa do projeto, começa dar resultado positivo, se diferenciando do pay back simples, por considerar nos seus cálculos a taxa de desconto de 12% ao ano. Dessa maneira o Projeto atinge resultado positivo em seu fluxo de caixa a partir de 11,04 anos - com Créditos de Carbono e 15,42 anos de atividade sem a obtenção dos Créditos.

O VPL é o resultado econômico, o lucro econômico descontado do Projeto, esse trazido a Valor Presente, com o objetivo de calcular o retorno do capital investido, além do aportado inicialmente. No cenário com os Créditos o fluxo de caixa foi capaz de atingir um valor positivo, indicando que após 15 anos de atividade do Projeto o valor de Retorno do investimento será de R\$ 55.453.910,00 mostrando que nesse caso o projeto é economicamente viável. Contudo no cenário sem a obtenção dos Créditos o projeto é economicamente inviável, dado que o fluxo de caixa não atingiu um valor positivo ao final destes 15 anos.

No cenário em que se considera a obtenção dos Créditos, obtemos uma TIR de 16%, maior do que a taxa de desconto adotada (12%), indicando também que o Projeto é economicamente viável. Contudo no cenário em que não se considera a obtenção dos Créditos de Carbono, a TIR é menor do que a Taxa de desconto.

Compilando os resultados obtidos para os seis cenários propostos inicialmente, elaborou-se o Gráfico 1, que indica os valores das Receitas Brutas com e sem a obtenção dos Créditos de Carbono, dada a evolução dos preços do gás.



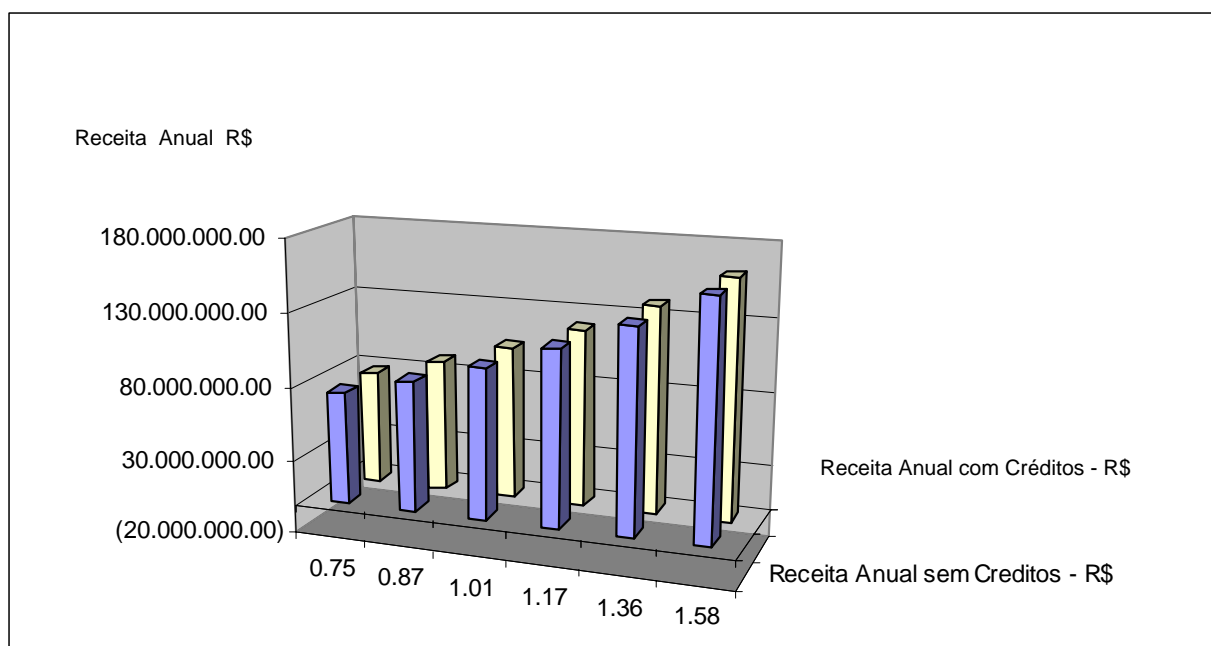


Gráfico 1 - Receita Bruta anual da atividade nos cenários de 01 a 06 com e sem a obtenção dos Créditos de Carbono

Como esperado, dada à produção de gás constante após atingir sua capacidade de 100%, o valor da Receita Bruta Anual se eleva com o aumento do Preço do Gás. Além disso, pode ser observado no Gráfico que, somente a partir do momento em que o valor do Preço do Gás atinge R\$ 1,17 o metro cúbico, o valor da Receita começa a superar o valor total do montante investido inicialmente, que foi de R\$ 132.000.000,00.

No entanto a Receita Bruta sofre todas as deduções especificadas anteriormente até gerar o resultado líquido da atividade, que pode indicar que esta, está operando com lucro ou prejuízo no exercício vigente. Sendo assim, e considerando a obtenção dos Créditos de Carbono, a Receita Líquida do Projeto no ano 5 (momento em que a produção do gás atingiu sua capacidade máxima de 100%) para o Cenário 01, foi de R\$ 84.499.574,00, no cenário 03 a Receita Líquida do Projeto foi de R\$ 115.002.735,00, indicando uma substancial melhora nas suas receitas. E no momento em que o Projeto se torna economicamente viável, o qual tem como o preço do metro cúbico do Gás equivalente a R\$ 1,36, a Receita Líquida é de R\$ 137.186.852,00, como pode ser observado no Gráfico 2.

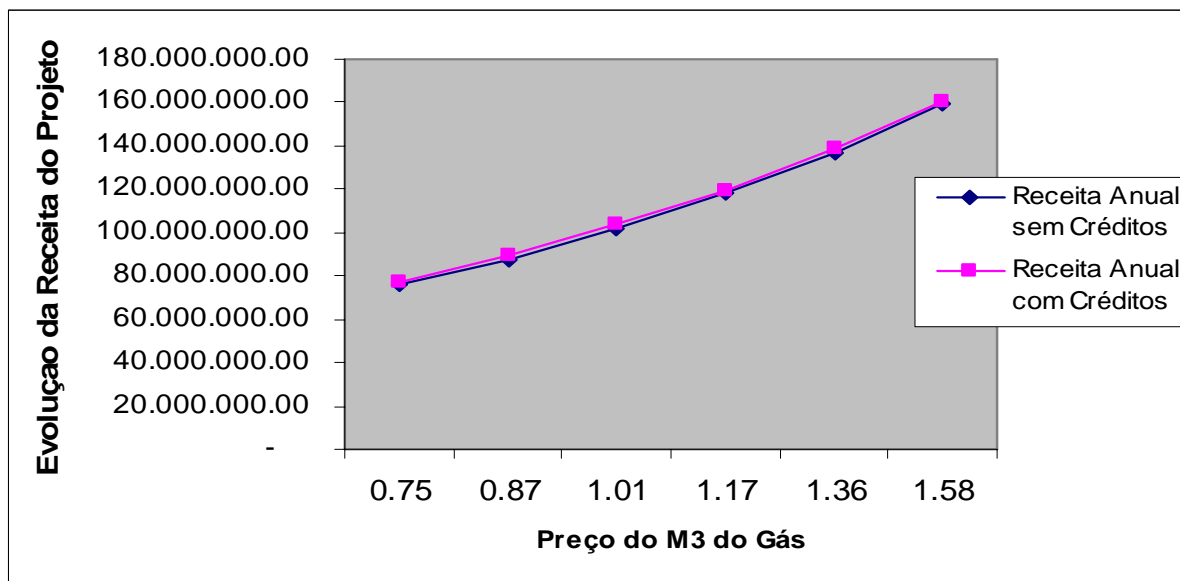


Gráfico 2 - Evolução da Receita Líquida da Atividade com e sem a obtenção dos Créditos de Carbono

Nos gráficos 01 e 02 evidencia-se a importância da obtenção destes Créditos, tanto no aumento das receitas como no resultado do Valor Presente Líquido (VPL), descrito no Gráfico 3.

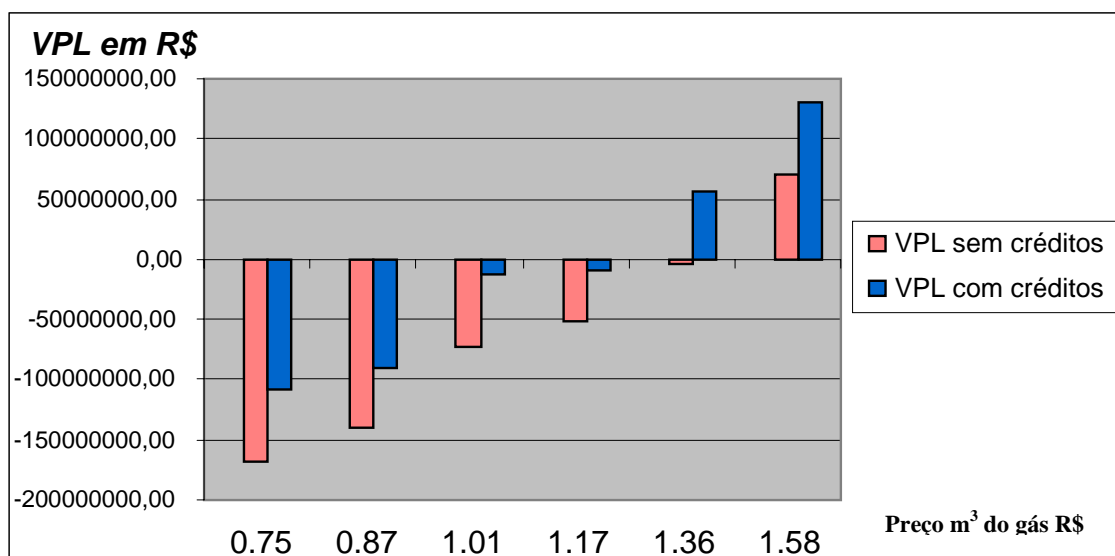


Gráfico 3 - Valor Presente Líquido da atividade nos cenários de 01 a 06 com e sem a obtenção de Créditos de Carbono.

Diante destas informações em conjunto com a análise dos indicadores econômicos gerados e apresentados para quatro dos Seis Cenários elencados, é possível vislumbrar que mesmo considerando um aumento de 16% de um cenário para outro no preço do gás, esta atividade somente se torna economicamente viável no Cenário 05 com a obtenção dos Créditos de Carbono.

Buscando identificar o valor do metro cúbico do gás natural que tornaria o Projeto ECBM para a Jazida de Charqueadas economicamente viável, sem considerar a obtenção de créditos de carbono, obteve-se o valor de R\$ 1,58. Adotando, portanto este valor, que corresponde ao Cenário 6, foi possível encontrar a viabilidade econômica do projeto sem a presença da receita adicional gerada pelo Crédito de Carbono, tal que o VPL apresentou valor de R\$ 129.918.808,52 com Créditos de Carbono e R\$ 70.332.863,09 sem a obtenção dos mesmos, e uma TIR de 21% e 17% respectivamente, o que torna, portanto o projeto economicamente viável em ambos os casos.

#### **4 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Diante das perspectivas na implantação de tecnologias que reduzam as emissões de gases de efeito estufa, o armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> aparece como uma promissora alternativa no combate ao aquecimento global.

Sendo assim, diante das diversas possibilidades de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub>, optou-se por realizar estudo de viabilidade econômica para a modalidade em camadas de carvão, por existir a produção de gás natural associada ao processo.

Logo a localidade elencada para a execução de projeto de ECBM-CO<sub>2</sub>, devido às características carboníferas, foi a Jazida de Charqueadas, que também abriga sobre suas proximidades o Pólo Petroquímico de Triunfo, que será a fornecedora do CO<sub>2</sub> a ser utilizado no processo.

Diante disso, o cenário elencado como base do estudo, em que foram utilizados os valores de mercado vigentes para o preço do gás natural, R\$ 0,75 o metro cúbico, e do crédito de carbono, R\$ 53,29, a atividade de ECBM-CO<sub>2</sub> apresentou-se como economicamente inviável, em vista dos resultados obtidos para os indicadores econômicos.

No intuito de encontrar valores para o preço do gás que tornassem o processo de ECBM-CO<sub>2</sub> viável, foram criados cinco cenários alternativos, em que as variações nos preços obedeceram as alterações ocorridas nos últimos anos.

Ao projetar os aumentos no valor do gás, obtiveram-se resultados para os indicadores econômicos que indicaram a viabilidade econômica do projeto somente no momento em que este atingiu o valor de R\$ 1,36 o metro cúbico de gás, destacando que este resultado positivo é apenas no cenário em que é considerada a obtenção dos Créditos de carbono.

Como a atividade de armazenamento geológico de CO<sub>2</sub> ainda não é contemplada nos Mecanismos de Flexibilização, os quais permitem a obtenção de Créditos de carbono, buscou-se a projeção de mais uma alteração no preço do metro cúbico do gás, com o objetivo de tornar o projeto economicamente viável sem contar com a aquisição destes créditos.

Dessa forma, utilizando o valor de R\$ 1,58 o metro cúbico do gás, foram obtidos resultados que demonstraram a viabilidade econômica da atividade sem a aquisição dos Créditos de carbono.

Estes resultados indicam, portanto, que para esta atividade sob o ponto de vista econômico-financeiro se tornar atrativo para investimentos é imprescindível a elevação do preço do metro cúbico do gás, visto que os resultados obtidos utilizando o preço de mercado não indicam atratividade para o investimento.

No entanto podem vir a ser consideradas em futuras simulações, o emprego de políticas públicas que subsidiem tal atividade. Visto que a realização de um projeto dessa grandeza pode se tornar uma oportunidade para desenvolvimento tecnológico do estado do Rio Grande do Sul, além da geração de inúmeros empregos diretos e indiretos criando assim, uma nova dinâmica econômica para o município de execução do projeto, bem como nos municípios localizados nos arredores.

Tem-se também como horizonte positivo da implementação do processo de ECBM-CO<sub>2</sub> a geração de energia mais limpa, a qual é fundamental na garantia da independência energética local, concomitantemente com a redução da dependência do gás natural, que é importado da Bolívia.

Destaca-se ainda que no Estado do Rio Grande do Sul, existem outros locais com potencial para a realização desta atividade, como por exemplo, as jazidas carboníferas de Morungava, Chico Lomã e Santa Terezinha.

Destarte, o projeto ECBM-CO<sub>2</sub> para a Jazida de Charqueadas deve ser tratado não somente do ponto de vista econômico, mas também levando em consideração a importância da questão da diversificação da matriz energética, visto que a expectativa para o ano 2050 da

demanda de energia à nível mundial é de dobrar, este projeto ganha relevo, tornando-se uma forma de garantir as gerações futuras uma fonte alternativa de energia que contribua simultaneamente para a redução de emissões de gases de efeito estufa.

## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E PETRÓLEO (ANP). **Análise de preços**. Disponível em: <[http://www.anp.gov.br/petro/analise\\_precos.asp](http://www.anp.gov.br/petro/analise_precos.asp)>. Acesso em: nov. 2008.

AGRAWAL, Angeni. **The economic feasibility of enhanced coalbed methane recovery using CO<sub>2</sub> sequestration in the San Juan Basin**. Submitted to the Office of Graduate Studies of Texas A&M University in partial fulfillment of the requirements for degree of Master of Science. May 2007.

BANCO CENTRAL DO BRASIL. **Cambio e capitais estrangeiros**. Disponível em: <<http://www.bcb.gov.br/?TXCAMBIO>>. Acesso em: 17 nov. 2008.

BREALEY, R. A.; MYERS, S. C. **Princípios de Finanças Empresariais**. Tradução H. Caldeira Menezes e J.C. Rodrigues da Costa. 3.ed. Portugal: McGraw-Hill, 1992.

CASAROTTO FILHO, Nelson; KOPITTKKE, Bruno Hartmut. **Análise de Investimentos**. 9.ed. São Paulo: Atlas, 2000.

COPERGAS. **Preço e tarifas do gás para o setor industrial em 12 de dezembro de 2008**. Disponível em: <<http://www.copergas.com.br/site/ctudo-conteudo.asp?idsecao=38>>. Acesso em: set. 2008.

GASIFICATION Technologies. Disponível em: <[http://www.fe.doe.gov/coal\\_power/gasification/index.shtml](http://www.fe.doe.gov/coal_power/gasification/index.shtml)>. Acesso em: 31 mar. 2008.

HERZOG, Howard; GOLOMB, Dan. **Carbon Capture and Storage from Fossil Fuel Use**. Cambridge: Massachusetts Institute of Technology, 2004.

IEA - INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS. **Carvão, Gaseificação, IGCC**. Disponível em: <<http://www.ieav.cta.br/enu/yuji/carvao.php>>. Acesso em: 31 mar. 2008.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. Greenhouse Gas R&D Programme. **Geologic Storage of Carbon Dioxide: Staying Safely Underground**. January, 2008. Disponível em: <<http://www.ieagreen.org.uk/glossies/geostoragesfty.pdf>>. Acesso em: out. 2008.

\_\_\_\_\_. Greenhouse Gas R&D Programme. **Natural Releases of CO<sub>2</sub>**. Disponível em: <<http://www.ieagreen.org.uk/glossies/naturalreleases.pdf>>. Acesso em: out. 2008.

\_\_\_\_\_. Greenhouse Gas R&D Programme. **A Review of Natural CO<sub>2</sub> Occurrences and Releases and the Relevance to CO<sub>2</sub> Storage**. Report Number 2005/8, September (2005). Disponível em: <<http://www.co2storage.org/Reports/Natural%20Releases%20Report.pdf>>. Acesso em: out. 2008.

\_\_\_\_\_. Greenhouse Gas R&D Programme. **Storing CO<sub>2</sub> Underground**. 2000.

IPCC - INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Special Report. **Carbon Dioxide Capture and Storage**. Disponível em: <[http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages\\_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbondioxideCaptureandStorage.htm](http://arch.rivm.nl/env/int/ipcc/pages_media/SRCCS-final/IPCCSpecialReportonCarbondioxideCaptureandStorage.htm)>. Acesso em: set. 2008.

IRGC POLICY BRIEF. **Regulation of Carbon Capture and Storage**. Disponível em: <<http://www.irgc.org/Expert-contributions-and-workshop.html>>. Acesso em: 25 ago. 2008.

JORNAL VALOR ECONÔMICO. Seção de Economia. São Paulo, 28 out. 2008.

KETZER, J. M.; CARPENTIER, B.; GALLO, Y. L.; THIEZ, P. L. Geological Sequestration of CO<sub>2</sub> in Mature Hydrocarbon Fields Basin and Reservoir Numerical Modelling of the Forties Field, North Sea. **Oil & Gas Science and Technology**, v. 60, n. 2, p. 259-273, 2005.

KETZER, João Marcelo; HEEMANN, Roberto. **Avaliação do potencial de metano em camada (coalbed methane) das jazidas de carvão da Formação Rio Bonito, Bacia do Paraná, no RS e SC**; 44 Congresso Brasileiro de Geologia, Curitiba, 2008.

KETZER, João Marcelo; VILLWOCK, Jorge Alberto; CAPORALE, Giancarlo et al. **Opportunities for CO<sub>2</sub> Capture and Geological Storage in Brazil: The CARBMAP Project** May 7-10, Pittsburgh, Pennsylvania: Sheraton Station Square, 2007.

MCT - MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Mudanças climáticas**. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: out. 2008.

MIT - MASSACHUSETTS INSTITUTE OF TECHNOLOGY. **The Economics of CO<sub>2</sub> Storage**. August 2003. Disponível em: <[http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE\\_2003-003\\_RP.pdf](http://sequestration.mit.edu/pdf/LFEE_2003-003_RP.pdf)>. Acesso em: set. 2008.

PHILIBERT, Cédric; ELLIS, Jane; PODKANSKI, Jacek. **Carbon capture and storage in the CDM**. Paper submitted in Environment Directorate International Energy Agency. 22, Nov. 2007.

PORTAL ECO DEBATE. **Cidadania e Meio ambiente**. Disponível em: <<http://www.ecodebate.com.br/index.php/2008/10/29/credito-de-carbono-entra-em-declinio/>>. Acesso em: 29 out. 2008.

RAVAGNANI, Ana Teresa Gaspar. **Modelagem Tecno economica de Sequestro de CO<sub>2</sub> considerando Injeção em Campos Maduros**. Tese (Doutorado) – Unicamp. Campinas, 2007.

REEVES, Scott R. **Assesmet of CO<sub>2</sub> Sequestration and ECBM Potencial of U.S. Coalbeds**. US Department of Energy Topical Report. Mar. 2003.

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.

SOCOLOW, Robert. **The Future of Energy**, Feb 27, 2007.

SULGAS RS. **Preço do Gás – simulador**. Disponível em: <[http://www.sulgaz.rs.gov.br/simulador\\_industrial.asp](http://www.sulgaz.rs.gov.br/simulador_industrial.asp)>. Acesso em: 12 dez. 2008.

WONG, W. D.; GUNTER, D.; LAW, Alberta et al. **Greenhouse Gas Control Technologies**. Tesseract Corp. [s.d].

## **ANEXOS**



ANEXO A - Especificações técnicas do compressor para a extração de CH<sub>4</sub>

<b><u>Primeiro Compressor</u></b>		
<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Taxa máxima de metano	mil/scm/dia	140
Pressão de sucção	bar	2.4
	psia	24.7
Pressão de descarga	bar	4.5
	psia	64.7
Compressor displacement	cmm	41
Proporção de compressão		1.875
Configuração do compressor		Motor Driven Reciprocating
HP máximo		210
Energia máxima relacionada	kW	157
Custo do Compressor	\$	105,000

Fonte: MIT (2003)

ANEXO B - Especificações técnicas do compressor para a distribuição de CH<sub>4</sub> nos dutos de comercialização

<b><u>Segundo Compressor</u></b>		
<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>Valor</b>
Taxa máxima de metano	milhoes/scm/dia	1.88
Pressão de sucção	Bar	4.5
	Psia	64.7
Pressão de descarga	Bar	25.1
	Psia	364.7
Compressor displacement	Cmm	291
Proporção de compressão		5.637
Configuração do compressor		Motor Driven Reciprocating
HP máximo		7,580
Energia máxima relacionada	kW	5,655
Custo do Compressor Venda de Gás	\$	3,970,000

Fonte: MIT (2003)

## ANEXO C - Especificação técnica das Bombas e Máquinas de bombeamento

<i>Equipamento</i>	<i>Especificação</i>		<i>Valor</i>	<i>Und.</i>
Bombas	API tipo RWBC	R\$	8.898.00	10
Maquinas de Bombeamento	API tamanho M 160D, 20 Hp	R\$	77.180.00	10

Fonte: MIT (2003)

## ANEXO D - Descrição técnica dos equipamentos alugados

<b>Descrição do Equipamento</b>	<b>Especificação</b>	<b>Qtde.</b>	<b>Valor</b>
Separador de Gases	5.0 milhões scf/dia gás	5	R\$ 28.148.00
Tanques de Armazenamento	Galão de 50.000	1	R\$ 86.941.00
Equipamentos acessórios	Medidor de gás, ventosa	5	R\$ 40.613.00

Fonte: MIT (2003)

ANEXO E - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 0,75 o metro cúbico, sem a obtenção dos créditos de carbono.

**ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO FINANCEIRA**  
**FLUXO DE CAIXA DO PROJETO**

	1 Sem/ Ano 1	2 Sem/ Ano 1	1 Sem/ Ano 2	2 Sem/ Ano 2	1 Sem/ Ano 3	2 Sem/ Ano 3	1 Sem/ Ano 4	2 Sem/ Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	
<b>ENTRADA DE CAIXA</b>	132.000,000																			
<b>RECEITA BRUTA</b>	37.874.952																			
<b>DEDUÇÕES DA RECEITA BRUTA</b>	7.063.679																			
ICMS	5.681.243																			
PIS	246.187																			
COFINS	1.136.249																			
<b>RECEITA LÍQUIDA</b>	30.811.273																			
<b>DESPESAS PRÉ OPERACIONAIS</b>	4.168.121																			
Perfuração de poços para injeção de CO2	709.375																			
Compressor Boost	715.050																			
Cabeça de poço	157.600																			
Dutos de Distribuição de CO2	1.136.000																			
Serviços elétricos	149.810																			
Perfuração de poços para extração de CH4	1.418.750																			
Dutos	3.405.000																			
Bombas	22.245																			
Maquinas de Bombeamento	192.950																			
Dutos de escoamento entre os poços do módulo	240.938																			
Compressor gathering	595.875																			
Compressor de Gás final	8.011.900																			
Mão de Obra PRÉ-OPERACIONAL	816.000																			
Outras despesas Pré Operacionais	1.200.636																			
<b>CUSTO OPERACIONAL</b>	31.918.390																			
Custo de CO2 capturado e pressurizado para injeção	22.700.000																			
Tanques de armazenamento	521.646																			
Equipamentos acessórios	1.210.390																			
Separação de Gases	844.440																			
<b>DESPESAS OPERACIONAIS</b>	1.980.015																			
Monitoramento 2% máquinas e equipamentos	1.576																			
Depreciação e Amortização	72.510																			
<b>RESULTADO OPERACIONAL</b>	(3.042.577)																			
<b>RECEITAS / DESPESAS NÃO - OPERACIONAIS</b>	-																			
<b>LUCRO ANTES DO IMPOSTO DE RENDA</b>	(3.042.577)																			
<b>IMPOSTO DE RENDA E CSLL</b>	1.031.493																			
Provisão para IR	756.745																			
Provisão para CSLL	274.748																			
<b>LUCRO / PREJUÍZO DO EXERCÍCIO</b>	(3.042.577)																			
<b>LUCRO / PREJUÍZO ACUMULADO</b>	(3.042.577)																			
<b>DEPRECIACÃO</b>	7.800																			
<b>GERAÇÃO DE CAIXA OPERACIONAL</b>	(3.034.697)																			
<b>SALDO EM CAIXA ACUMULADO</b>	129.965.304																			

**FLUXO DE CAIXA LIVRE**

	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	ANO 14	ANO 15
Lucro / Prejuízo do Exercício	(7.297.709)	(61.670.000)	(4.570.029)	4.777.297	10.555.483	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343
(+) DEPRECIACÃO	80.390	562.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
(-) VARIAÇÃO DO CAPITAL DE GIRO LÍQUIDO															
(-) INVESTIMENTOS DE CAPITAL	132.000.000	562.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DO PROJETO</b>	(139.217.319)	(61.678.060)	(24.570.899)	4.777.297	10.555.483	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343	15.639.343
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE ACUMULADO</b>	(139.217.319)	(201.895.379)	(276.466.278)	(270.688.981)	(260.133.498)	(244.494.156)	(228.854.813)	(213.215.470)	(197.576.126)	(181.936.785)	(166.297.443)	(150.658.100)	(135.018.757)	(119.379.415)	(103.740.072)
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO</b>	(124.301.178)	(49.169.372)	63.078.095	3.036.069	5.369.464	7.923.378	7.074.444	6.316.468	5.639.704	5.036.450	4.496.937	4.014.290	3.684.134	3.200.119	2.857.249
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO ACUMULADO</b>	(124.301.178)	(173.470.549)	(236.548.643)	(223.512.584)	(217.522.119)	(209.599.742)	(202.526.297)	(196.208.829)	(190.569.126)	(185.533.678)	(181.037.739)	(177.023.609)	(173.439.376)	(170.299.256)	(167.392.006)

Taxa de Desconto	12%
Pay Back Simples	21.83
Pay Back Descontado	73.50
Valor Presente Líquido	(167.392.006)
Taxa Interna de Retorno	5%







# ANEXO I - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,32 o metro cúbico, sem a obtenção dos créditos de carbono.

## ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO FINANCEIRA

### FLUXO DE CAIXA DO PROJETO

	1 Sem/ Ano 1	2 Sem/ Ano 1	1 Sem/ Ano 2	2 Sem/ Ano 2	1 Sem/ Ano 3	2 Sem/ Ano 3	1 Sem/ Ano 4	2 Sem/ Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15
<b>ENTRADA DE CAIXA</b>	132.000.000																		
<b>RECEITA BRUTA</b>	-	-	-	-	-	-	66.659.916	66.659.916	149.984.810	166.649.789	166.649.789	166.649.789	166.649.789	166.649.789	166.649.789	166.649.789	166.649.789	166.649.789	166.649.789
<b>DEDUÇÕES DA RECEITA BRUTA</b>	-	-	-	-	-	-	12.432.074	12.432.074	27.972.167	31.080.196	31.080.196	31.080.196	31.080.196	31.080.196	31.080.196	31.080.196	31.080.196	31.080.196	31.080.196
ICMS	-	-	-	-	-	-	9.999.987	9.999.987	22.927.721	24.997.468	24.997.468	24.997.468	24.997.468	24.997.468	24.997.468	24.997.468	24.997.468	24.997.468	24.997.468
PIS	-	-	-	-	-	-	433.289	433.289	974.901	1.083.224	1.083.224	1.083.224	1.083.224	1.083.224	1.083.224	1.083.224	1.083.224	1.083.224	1.083.224
COFINS	-	-	-	-	-	-	1.999.797	1.999.797	4.499.544	4.999.494	4.999.494	4.999.494	4.999.494	4.999.494	4.999.494	4.999.494	4.999.494	4.999.494	4.999.494
<b>RECEITA LÍQUIDA</b>	-	-	-	-	-	-	54.227.841	54.227.841	122.012.643	135.569.603	135.569.603	135.569.603	135.569.603	135.569.603	135.569.603	135.569.603	135.569.603	135.569.603	135.569.603
<b>DESPESAS PRÉ-OPERACIONAIS</b>	3.033.121	4.168.121	5.285.436	7.892.394	16.904.294	4.487.394	1.052.008	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfuração de poços para injeção de CO2	709.375	709.375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor Boost	-	-	715.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabeça de poço	157.600	157.600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos de Distribuição de CO2	1.135.000	1.135.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Serviços elétricos	149.510	149.510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfuração de poços para extração de CH4	-	-	1.418.750	1.418.750	1.418.750	1.418.750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos	-	-	3.405.000	3.405.000	3.405.000	3.405.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bombas	-	-	22.245	22.245	22.245	22.245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maquinas de Bombeamento	-	-	192.950	192.950	192.950	192.950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos de escoamento entre os poços do módulo	-	-	240.938	240.938	240.938	240.938	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor gathering	-	-	595.875	595.875	595.875	595.875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor de Gás final	-	-	-	-	9.011.500	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mão de Obra PRÉ-OPERACIONAL	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras despesas Pré Operacionais	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CUSTO OPERACIONAL</b>	-	-	23.918.390	23.918.390	25.284.476	25.284.476	25.284.476	25.284.476	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952
Custo do CO2 capturado e pressurizado para injeção	-	-	22.700.000	22.700.000	22.700.000	22.700.000	22.700.000	22.700.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000
Tanques de armazenamento	-	-	521.646	521.646	521.646	521.646	521.646	521.646	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292
Equipamentos acessórios	-	-	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780
Separador de Gases	-	-	844.440	844.440	844.440	844.440	844.440	844.440	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880
<b>DESPESAS OPERACIONAIS</b>	9.456	87.012	198.015	465.435	1.273.570	1.336.690	1.399.811	1.399.811	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622	2.799.622
Monitoramento (2% maquinas e equipamentos)	1.576	14.502	33.003	77.573	212.262	222.782	233.302	233.302	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604
Depreciação e Amortização	7.880	72.510	165.013	387.863	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>RESULTADO OPERACIONAL</b>	(3.042.577)	(4.255.133)	(29.401.841)	(32.276.219)	(43.462.339)	(31.108.560)	26.491.547	27.543.554	68.644.069	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030
<b>RECEITAS / DESPESAS NÃO - OPERACIONAIS</b>	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>LUCRO ANTES DO IMPOSTO DE RENDA</b>	(3.042.577)	(4.255.133)	(29.401.841)	(32.276.219)	(43.462.339)	(31.108.560)	26.491.547	27.543.554	68.644.069	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030	82.201.030
<b>IMPOSTO DE RENDA E CSLL</b>	-	-	-	-	-	-	8.995.126	9.352.809	23.314.984	27.924.350	27.924.350	27.924.350	27.924.350	27.924.350	27.924.350	27.924.350	27.924.350	27.924.350	27.924.350
Provisão para IR	-	-	-	-	-	-	6.610.887	6.873.889	17.137.017	20.526.257	20.526.257	20.526.257	20.526.257	20.526.257	20.526.257	20.526.257	20.526.257	20.526.257	20.526.257
Provisão para CSLL	-	-	-	-	-	-	2.384.239	2.478.920	6.177.966	7.398.093	7.398.093	7.398.093	7.398.093	7.398.093	7.398.093	7.398.093	7.398.093	7.398.093	7.398.093
<b>LUCRO / PREJUÍZO DO EXERCÍCIO</b>	(3.042.577)	(4.255.133)	(29.401.841)	(32.276.219)	(43.462.339)	(31.108.560)	17.496.421	18.190.746	45.329.086	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680
<b>LUCRO / PREJUÍZO ACUMULADO</b>	(3.042.577)	(7.297.709)	(36.699.550)	(68.975.769)	(112.438.108)	(143.546.668)	(126.050.247)	(107.859.501)	(62.530.416)	(8.253.736)	46.022.944	100.299.623	154.576.303	208.852.982	263.129.662	317.406.341	371.683.021	425.959.700	480.236.380
<b>DEPRECIAÇÃO</b>	7.880	72.510	165.013	387.863	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>GERAÇÃO DE CAIXA OPERACIONAL</b>	(3.034.697)	(4.182.623)	(29.236.829)	(31.888.356)	(42.401.031)	(29.994.651)	18.662.930	19.357.255	47.662.104	56.609.698	56.609.698	56.609.698	56.609.698	56.609.698	56.609.698	56.609.698	56.609.698	56.609.698	56.609.698
<b>SALDO EM CAIXA ACUMULADO</b>	128.965.304	124.782.681	95.545.853	63.657.496	21.256.465	(8.738.186)	9.924.744	29.281.999	76.944.103	133.553.800	190.163.498	246.773.195	303.382.893	359.992.590	416.602.288	473.211.985	529.821.683	586.431.380	643.041.078

### FLUXO DE CAIXA LIVRE

	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	ANO 14	ANO 15
Lucro / Prejuízo do Exercício	(7.297.709)	(61.678.060)	(74.570.899)	35.687.167	45.329.086	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680
(+) DEPRECIAÇÃO	80.390	552.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
(-) VARIAÇÃO DO CAPITAL DE GIRO LÍQUIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) INVESTIMENTOS DE CAPITAL	132.000.000	552.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DO PROJETO</b>	(139.217.319)	(61.678.060)	(74.570.899)	35.687.167	45.329.086	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680	54.276.680
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE ACUMULADO</b>	(139.217.319)	(200.895.379)	(275.466.278)	(239.779.111)	(194.450.026)	(140.173.346)	(85.896.666)	(31.619.987)	22.656.893	76.933.372	131.210.052	185.486.731	239.763.411	294.040.090	348.316.770
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO</b>	(124.301.178)	(49.169.372)	(53.078.093)	22.679.840	25.720.941	27.498.255	24.552.013	21.921.441	19.572.715	17.475.638	15.603.248	13.931.472	12.438.814	11.106.084	9.916.146
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO ACUMULADO</b>	(124.301.178)	(173.470.549)	(226.548.643)	(203.868.803)	(178.147.862)	(150.649.607)	(126.097.594)	(104.176.153)	(84.603.439)	(67.127.800)	(51.524.552)	(37.593.080)	(25.154.266)	(14.048.182)	(4.132.036)





## ANEXO K - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,58 o metro cúbico, sem a obtenção dos créditos de carbono.

### ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO FINANCEIRA FLUXO DE CAIXA DO PROJETO

	1 Sem/ Ano 1	2 Sem/ Ano 1	1 Sem/ Ano 2	2 Sem/ Ano 2	1 Sem/ Ano 3	2 Sem/ Ano 3	1 Sem/ Ano 4	2 Sem/ Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	
<b>ENTRADA DE CAIXA</b>	132.000.000																			
<b>RECEITA BRUTA</b>	-																			
<b>DEDUÇÕES DA RECEITA BRUTA</b>	-																			
ICMS	-	-	-	-	-	-	-	-	14.880.816	14.880.816	33.481.836	37.202.040	37.202.040	37.202.040	37.202.040	37.202.040	37.202.040	37.202.040	37.202.040	37.202.040
PIS	-	-	-	-	-	-	-	-	11.968.485	11.968.485	26.929.091	29.921.212	29.921.212	29.921.212	29.921.212	29.921.212	29.921.212	29.921.212	29.921.212	29.921.212
COFINS	-	-	-	-	-	-	-	-	518.634	518.634	1.166.927	1.296.586	1.296.586	1.296.586	1.296.586	1.296.586	1.296.586	1.296.586	1.296.586	1.296.586
<b>RECEITA LÍQUIDA</b>	64.909.083																			
<b>DESPESAS PRÉ-OPERACIONAIS</b>	3.033.121																			
Perfuração de poços para injeção de CO2	709.375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor Boost	-	-	715.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabeça de poço	157.600	157.600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos de Distribuição de CO2	1.135.000	1.135.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Serviços elétricos	149.510	149.510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfuração de poços para extração de CH4	-	-	1.418.750	1.418.750	1.418.750	1.418.750	1.418.750	1.418.750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos	-	-	-	3.405.000	3.405.000	3.405.000	3.405.000	3.405.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bombas	-	-	-	22.245	22.245	22.245	22.245	22.245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maquinas de Bombeamento	-	-	-	192.950	192.950	192.950	192.950	192.950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos de escoamento entre os poços do módulo	-	-	-	240.938	240.938	240.938	240.938	240.938	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor gathering	-	-	-	595.875	595.875	595.875	595.875	595.875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor de Gás final	-	-	-	-	-	9.011.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mão de Obra PRÉ-OPERACIONAL	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras despesas Pré Operacionais	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CUSTO OPERACIONAL</b>	-																			
Custo do CO2 capturado e pressurizado para injeção	-	-	23.918.390	23.918.390	23.918.390	23.918.390	23.918.390	23.918.390	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000
Tanques de armazenamento	-	-	-	521.646	521.646	521.646	521.646	521.646	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Equipamentos acessórios	-	-	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Separador de Gases	-	-	-	844.440	844.440	844.440	844.440	844.440	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>DESPESAS OPERACIONAIS</b>	9.456																			
Monitoramento (2% maquinas e equipamentos)	1.576	14.502	33.003	77.573	212.262	222.792	233.302	233.302	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604
Depreciação e Amortização	7.880	72.510	166.013	387.863	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>RESULTADO OPERACIONAL</b>	(3.042.577)																			
<b>RECEITAS / DESPESAS NÃO - OPERACIONAIS</b>	-																			
<b>LUCRO ANTES DO IMPOSTO DE RENDA</b>	(3.042.577)																			
<b>IMPOSTO DE RENDA E CSLL</b>	-																			
Provisão para IR	-	-	-	-	-	-	-	-	9.281.197	9.544.199	23.145.216	27.202.033	27.202.033	27.202.033	27.202.033	27.202.033	27.202.033	27.202.033	27.202.033	27.202.033
Provisão para CSLL	-	-	-	-	-	-	-	-	3.345.551	3.440.232	8.340.918	9.801.372	9.801.372	9.801.372	9.801.372	9.801.372	9.801.372	9.801.372	9.801.372	9.801.372
<b>LUCRO / PREJUÍZO DO EXERCÍCIO</b>	(3.042.577)																			
<b>LUCRO / PREJUÍZO ACUMULADO</b>	(3.042.577)																			
<b>DEPRECIACÃO</b>	7.880																			
<b>GERAÇÃO DE CAIXA OPERACIONAL</b>	(3.034.697)																			
<b>SALDO EM CAIXA ACUMULADO</b>	128.965.304																			

### FLUXO DE CAIXA LIVRE

	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	ANO 14	ANO 15
Lucro / Prejuízo do Exercício	(7.297.709)	(61.678.060)	(74.570.899)	49.786.406	61.190.729	71.900.728	71.900.728	71.900.728	71.900.728	71.900.728	71.900.728	71.900.728	71.900.728	71.900.728	71.900.728
(+) DEPRECIACÃO	80.390	552.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
(-) VARIAÇÃO DO CAPITAL DE GIRO LÍQUIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) INVESTIMENTOS DE CAPITAL	132.000.000	552.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DO PROJETO</b>	(139.217.319)														
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE ACUMULADO</b>	(139.217.319)														
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO</b>	(124.301.178)														
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO ACUMULADO</b>	(124.301.178)														

ANEXO L - Planilha base de cálculo do fluxo de caixa e dos indicadores econômicos – Modelo para o cálculo considerando o valor do gás em R\$ 1,58 o metro cúbico, com a obtenção dos créditos de carbono.

ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICO FINANCEIRA  
FLUXO DE CAIXA DO PROJETO

	1 Sem/ Ano 1	2 Sem/ Ano 1	1 Sem/ Ano 2	2 Sem/ Ano 2	1 Sem/ Ano 3	2 Sem/ Ano 3	1 Sem/ Ano 4	2 Sem/ Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7	Ano 8	Ano 9	Ano 10	Ano 11	Ano 12	Ano 13	Ano 14	Ano 15	
<b>ENTRADA DE CAIXA</b>	132.000.000																			
<b>RECEITA BRUTA</b>	-																			
<b>DEDUÇÕES DA RECEITA BRUTA</b>	-																			
ICMS	-	-	-	-	2.484.845	2.484.845	16.620.208	16.620.208	36.960.619	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823	40.680.823
PIS	-	-	-	-	1.998.535	1.998.535	13.367.459	13.367.459	29.727.040	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161	32.719.161
COFINS	-	-	-	-	86.603	86.603	579.257	579.257	1.288.172	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830	1.417.830
	-	-	-	-	399.707	399.707	2.673.492	2.673.492	5.945.408	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832	6.543.832
<b>RECEITA LÍQUIDA</b>	10.838.721																			
<b>DESPESAS PRÉ-OPERACIONAIS</b>	3.033.121																			
Perfuração de poços para injeção de CO2	709.375	709.375	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor Boost	-	-	715.050	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Cabeça de poço	157.600	157.600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos de Distribuição de CO2	148.510	1.135.000	1.135.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Serviços elétricos	-	148.510	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Perfuração de poços para extração de CH4	-	-	1.418.750	1.418.750	1.418.750	1.418.750	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos	-	-	-	3.405.000	3.405.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Bombas	-	-	-	22.245	22.245	22.245	22.245	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Maquinário de Bombeamento	-	-	-	192.950	192.950	192.950	192.950	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dutos de escoamento entre os poços do módulo	-	-	-	240.938	240.938	240.938	240.938	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor gathering	-	-	-	595.875	595.875	595.875	595.875	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Compressor de Gás final	-	-	-	9.011.900	9.011.900	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mão de Obra PRÉ-OPERACIONAL	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	816.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Outras despesas Pré Operacionais	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	1.200.636	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>CUSTO OPERACIONAL</b>	23.918.390																			
Custo do CO2 capturado e pressurizado para injeção	-	-	23.918.390	23.918.390	25.284.476	25.284.476	25.284.476	25.284.476	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952	50.568.952
Tanques de armazenamento	-	-	22.700.000	22.700.000	22.700.000	22.700.000	22.700.000	22.700.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000	45.400.000
Equipamentos acessórios	-	-	521.646	521.646	521.646	521.646	521.646	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292	1.043.292
Separador de Gases	-	-	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	1.218.390	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780	2.436.780
	-	-	844.440	844.440	844.440	844.440	844.440	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880	1.688.880
<b>DESPESAS OPERACIONAIS</b>	9.456																			
Monitoramento (2% máquinas e equipamentos)	1.576	14.502	33.003	33.003	212.262	222.782	233.302	233.302	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604	466.604
Depreciação e Amortização	7.880	72.510	165.013	387.863	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>RESULTADO OPERACIONAL</b>	(3.042.577)																			
<b>RECEITAS / DESPESAS NÃO - OPERACIONAIS</b>	-																			
<b>LUCRO ANTES DO IMPOSTO DE RENDA</b>	(3.042.577)																			
<b>IMPOSTO DE RENDA E CSLL</b>	-																			
Provisão para IR	-	-	-	-	-	-	11.177.973	11.140.975	26.938.768	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586	30.995.586
Provisão para CSLL	-	-	-	-	-	-	4.028.390	4.123.071	9.706.596	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051	11.167.051
<b>LUCRO / PREJUÍZO DO EXERCÍCIO</b>	(3.042.577)																			
<b>LUCRO / PREJUÍZO ACUMULADO</b>	(7.297.709)																			
<b>DEPRECIACÃO</b>	7.880																			
<b>GERAÇÃO DE CAIXA OPERACIONAL</b>	(3.034.697)																			
<b>SALDO EM CAIXA ACUMULADO</b>	128.965.304																			

FLUXO DE CAIXA LIVRE

	ANO 1	ANO 2	ANO 3	ANO 4	ANO 5	ANO 6	ANO 7	ANO 8	ANO 9	ANO 10	ANO 11	ANO 12	ANO 13	ANO 14	ANO 15
Lucro / Prejuízo do Exercício	(7.297.709)	(61.678.060)	(52.893.458)	59.801.384	71.205.707	81.915.706	81.915.706	81.915.706	81.915.706	81.915.706	81.915.706	81.915.706	81.915.706	81.915.706	81.915.706
(+) DEPRECIACÃO	80.390	552.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
(-) VARIAÇÃO DO CAPITAL DE GIRO LÍQUIDO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
(-) INVESTIMENTOS DE CAPITAL	132.000.000	552.875	2.175.217	2.333.018	1.061.308	1.113.909	1.166.509	1.166.509	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018	2.333.018
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DO PROJETO</b>	(139.217.319)														
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE ACUMULADO</b>	(139.217.319)														
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO</b>	(124.301.178)														
<b>FLUXO DE CAIXA LIVRE DESCONTADO ACUMULADO</b>	(124.301.178)														

ANEXO M - Planilha base cálculo receitas, considerando o valor de R\$ 0,75 metro cúbico do gás e sem a obtenção de créditos de carbono.

PREÇO REFERENCIA		Capacidade dia		Capacidade / mês		Valor Referência Ano 4		
Produção Gás		350.694	m <sup>3</sup> /dia	10.520.820	m <sup>3</sup> /mês	R\$	0,75	M3
Créditos de Carbono		1.389	ton/dia	41.670	ton/mês	R\$	-	ton
-								
CRESCIMENTO RECEITA		Capacidade		Capacidade / mês		Crescimento Ano 1		
Produção Gás		350.694	m <sup>3</sup> /dia	10.520.820	m <sup>3</sup> /mês			0%
Créditos de Carbono		2.740	ton/dia	82.200	ton/mês			0%
-								
				R\$	7.890.615,00			
CRESCIMENTO PRODUÇÃO		1 Sem./Ano 3	2 Sem./Ano 3	1 Sem./Ano 4	2 Sem./Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Produção Gás		-	-	80%	80%	90%	100%	100%
Créditos de Carbono		100%	100%	70%	70%	70%	70%	70%
-								
EVOLUÇÃO DA RECEITA		1 Sem./Ano 3	2 Sem./Ano 3	1 Sem./Ano 4	2 Sem./Ano 4	Ano 5	Ano 6	Ano 7
Produção Gás		-	-	6.312.492	6.312.492	7.101.554	7.890.615	7.890.615
Créditos de Carbono		-	-	-	-	-	-	-
<b>Receita Total</b>		-	-	<b>37.874.952</b>	<b>37.874.952</b>	<b>85.218.642</b>	<b>94.687.380</b>	<b>94.687.380</b>

