

# 1

## Introdução

Atualmente é inegável a preocupação mundial com questões ecológicas e ambientais, principalmente no que se refere às mudanças climáticas.

O aquecimento no sistema climático mundial vem sendo monitorado através de medições das temperaturas da superfície terrestre, do aumento dos níveis do oceano e da diminuição das espessuras das camadas de neve do hemisfério norte, como mostra a figura 1.

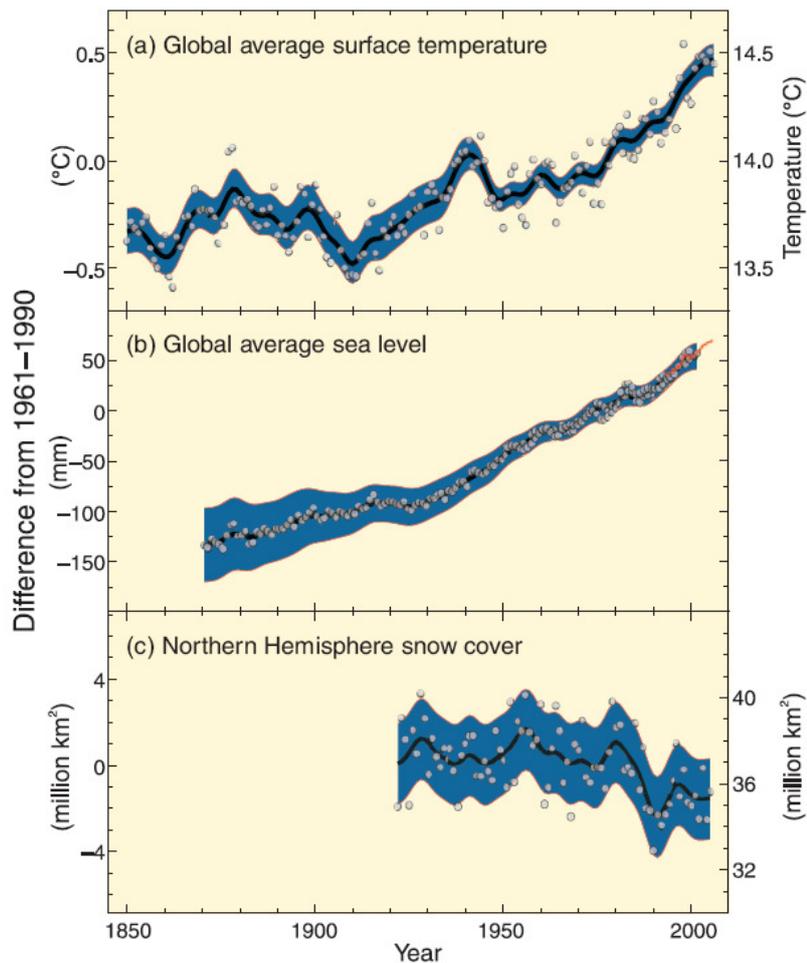


Figura 1 – Mudanças observadas: (a) nas temperaturas médias globais da superfície terrestre; (b) nos níveis médios globais do oceano; (c) nas espessuras médias globais das camadas de neve do hemisfério norte.

Na figura 1 os valores nos eixos das ordenadas são as diferenças com relação à média dos valores medidos entre 1961 e 1990. Tais diferenças são representadas por pontos quando as médias são anuais e por linhas escuras quando as médias são semanais. A figura 1 também mostra uma área sombreada que representa o intervalo de incerteza das medições.

Supõe-se que tais mudanças estão ligadas diretamente às emissões de gases que contribuem para o efeito estufa, sendo o mais importante deles o dióxido de carbono (figura 2), que é o produto da queima de combustíveis fósseis, que por sua vez, é cada vez mais crescente devido ao aumento da demanda de energia no mundo.

As emissões globais de gases do efeito estufa, devidas a atividade humana, crescem desde o período pré-industrial (antes de 1750), com um aumento de 70% entre 1970 e 2004 (figura 2).

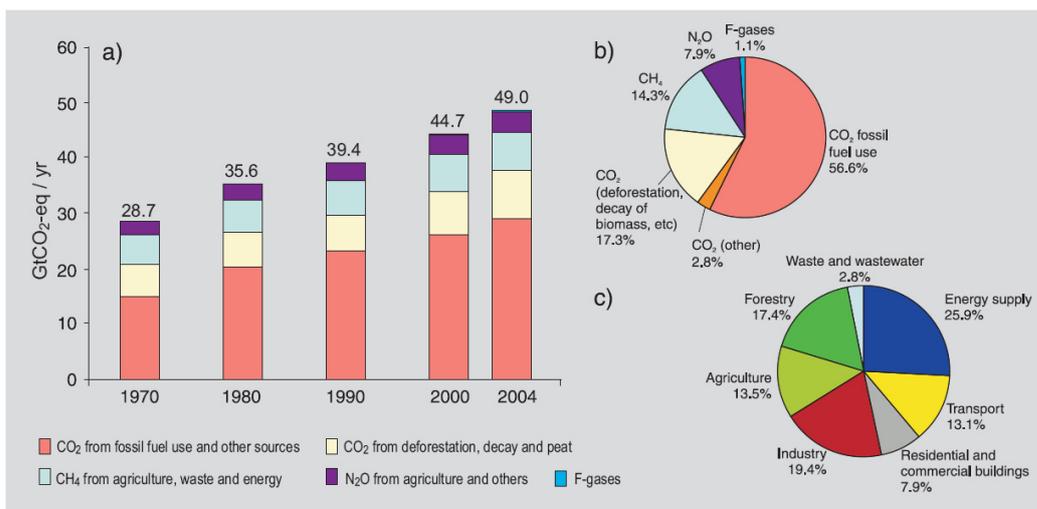


Figura 2 – (a) Emissões mundiais anuais de gases do efeito estufa de origem antropogênica de 1970 a 2004; (b) parcelas dos diferentes gases do efeito estufa nas emissões totais em 2004 em termos de emissões de CO<sub>2</sub>-equivalentes\* e (c) parcela dos diferentes setores no total de emissões de gases do efeito estufa em 2004 em termos de emissões de CO<sub>2</sub>-equivalente\*. <sup>30</sup>

\*CO<sub>2</sub>-equivalente é a quantidade de CO<sub>2</sub> que causaria a mesma “força radiativa\*\*\*” que certa quantidade emitida de outro gás do efeito estufa.

\*\*Força radiativa é uma medida da influência que um determinado gás tem em alterar o balanço de entrada e saída de energia no sistema terra-atmosfera. É expressa em watts por m<sup>2</sup> (unidade de fluxo de transferência de calor) e pode ser considerada como um índice da importância do gás como mecanismo de mudança climática.

Informações coletadas a partir de amostras de gelo indicam a evolução da concentração de CO<sub>2</sub> na atmosfera nos últimos 10 mil anos (figura 3).

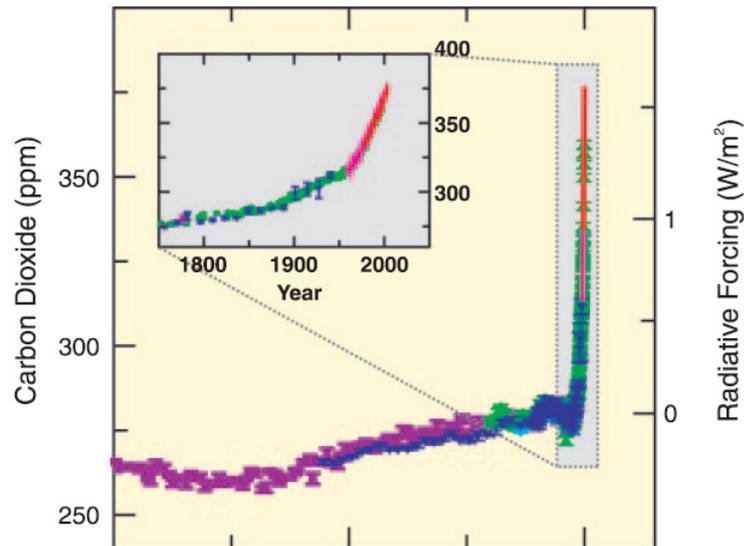


Figura 3 – Concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> ao longo dos últimos 10 mil anos (a partir de amostras de gelo e amostras atmosféricas).<sup>30</sup>

A figura 3 mostra também uma ampliação da escala para o período desde o início da era pré-industrial até o século XXI.

Para atribuir as mudanças climáticas à ação do homem é necessário descartar a parcela destas alterações que foram causadas por fatores naturais. Com este objetivo estabeleceu-se uma comparação (figura 4) entre os impactos oriundos de aspectos antropogênicos a partir da irradiação solar natural. A influência de cada termo é quantificada através de um valor mais provável de força radiativa (RF), com o respectivo intervalo de incerteza. Para cada termo são calculados valores médios (globais, continentais a globais ou locais a continentais) e é atribuído um nível de entendimento científico (*level o scientific understanding - LOSU*).

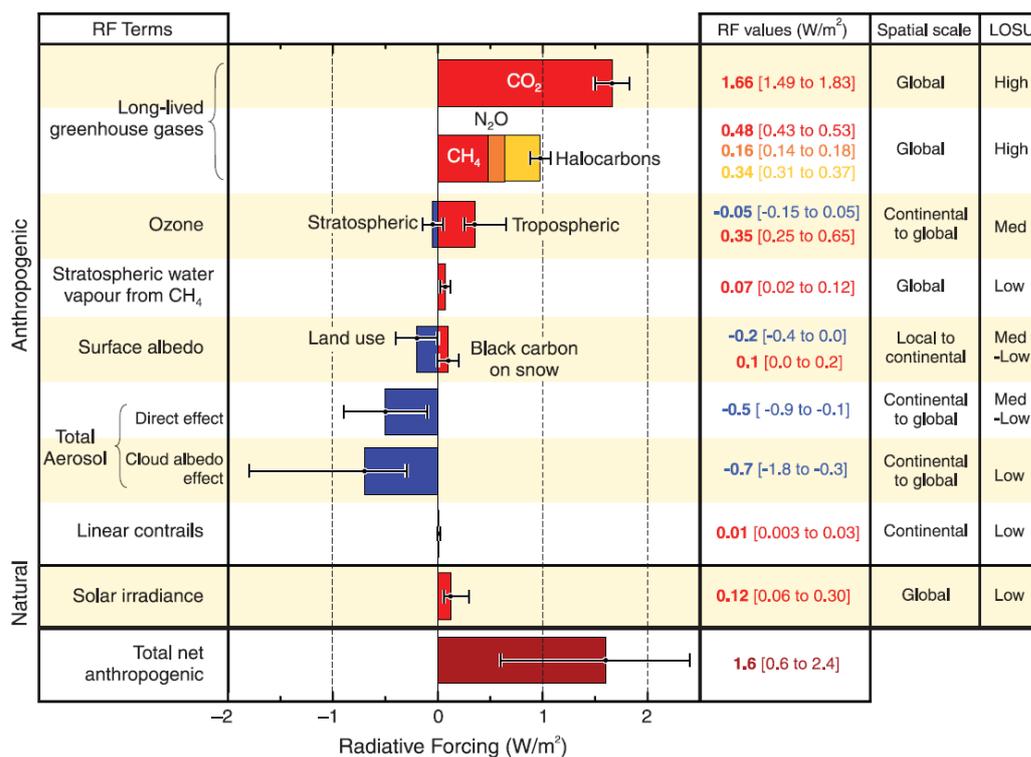


Figura 4 – Força radiativa média (RF) do ano de 1750 até 2005.<sup>30</sup>

Pode-se observar na figura 4 que alguns aspectos antropogênicos têm um efeito de resfriamento (forçante negativa), ao invés de aquecimento (forçante positiva). A forçante positiva da irradiação solar foi descontada para se calcular a forçante total antropogênica (+1,6 W/m<sup>2</sup>).

Diante disto, temos que o aumento da demanda por energia enseja o aumento da emissão de gases poluentes e conseqüente dano ambiental. Assim, com o intuito de evitar tais danos há a real necessidade de propostas que conciliem a demanda de energia com o equilíbrio ecológico, ambiental e climático.

O valor econômico destas propostas foi quantificado através de um estudo encomendado pelo governo britânico sobre os efeitos das alterações climáticas na economia global. Este trabalho foi concluído e apresentado ao público em 2006 e gerou um documento de mais de 700 páginas que ficou conhecido como relatório Stern, sendo que uma das principais conclusões é que, um investimento de apenas 1% do PIB mundial pode evitar a perda de um valor equivalente a 20% do mesmo PIB num prazo de simulação de 50 anos.<sup>31</sup>

Dentre as propostas mais recentes e importantes para reduzir e estabilizar as emissões de dióxido de carbono em termos de capacidade está o armazenamento

geológico em campos de petróleo maduros ou depletados, em aquíferos salinos profundos ou em leitos de carvão.

Os estudos recentes demonstram que a capacidade de armazenamento de dióxido de carbono dos reservatórios geológicos conhecidos pode ser até cinco vezes maior que a quantidade de CO<sub>2</sub> que será emitida até 2050, cerca de 2x10<sup>12</sup> toneladas de CO<sub>2</sub>, como se pode observar na tabela 1. Ou seja, estes reservatórios viabilizariam, teoricamente, a produção de energia sem que gases poluentes fossem emitidos na atmosfera, já que ficariam retidos nos aquíferos, campos de petróleo e leitos de carvão.

Tabela 1 – Comparação entre as capacidades de armazenamento para opções de seqüestro geológico.<sup>1</sup>

Opções de Armazenamento	Capacidade em Gt de CO <sub>2</sub>	Percentual das emissões acumuladas até 2050
Campos de petróleo	920	45 %
Aquíferos salinos	400-10000	20-500 %
Leitos de carvão	40	2 %

Sobre o tema, há diversos trabalhos, como os estudos de Pacala e Socolow (2004), que afirmam que o seqüestro geológico de CO<sub>2</sub> seria uma medida que reduziria as emissões mundiais em 1 Gt de CO<sub>2</sub> por ano em 2055.

No mundo os reservatórios geológicos têm capacidade para armazenamento da ordem de 11000 Gt de CO<sub>2</sub>. O Brasil, por sua vez, possui cerca de 2000 Gt de CO<sub>2</sub> de capacidade estimada de armazenamento geológico. A Bacia de Campos, por exemplo, possui capacidade de armazenamento de 90 Mt de CO<sub>2</sub> por ano (Ketzer et al, 2007), ou seja, é um país apto, geologicamente falando, a armazenar CO<sub>2</sub>, evitando sua emissão.

É importante destacar que quanto a estes reservatórios, um dos fatores de incerteza é a sua segurança no armazenamento de CO<sub>2</sub> por milhares de anos, mas já se sabe que alguns dos pontos a favor do armazenamento geológico são as ocorrências de campos de gás natural e CO<sub>2</sub> (geoquímico) e o *know-how* da indústria do petróleo em transportar e injetar CO<sub>2</sub>.

Assim, tendo por base este potencial brasileiro para o seqüestro geológico, este trabalho terá como enfoque o seqüestro geológico de CO<sub>2</sub>, optando especificamente pela análise do armazenamento em aquíferos salinos.

## 1.1

### **Objetivo e organização do trabalho**

Este trabalho prioriza a análise dos aspectos técnicos envolvidos no processo de injeção de dióxido de carbono em aquíferos salinos para fins de armazenamento.

Tal análise tem caráter quantitativo e objetiva a determinação das melhores condições para o seqüestro no que diz respeito à capacidade de armazenamento e otimização do processo.

Para atingir o objetivo acima citado foi inicialmente realizado um levantamento na literatura de temas de grande relevância. O presente relatório mostra um resumo desta revisão bibliográfica, evidenciando os dados laboratoriais das propriedades do CO<sub>2</sub> e da água salgada.

Também estão registradas no resumo da revisão bibliográfica informações referentes a campos de CO<sub>2</sub> já vastamente estudados pela indústria do petróleo e que podem servir como análogos ao seqüestro geológico de dióxido de carbono.

Ainda no resumo da revisão bibliográfica foram registradas as principais conclusões de estudos que mostram quais são as condições favoráveis ao armazenamento de CO<sub>2</sub> em aquíferos salinos e, finalmente, são apresentados alguns trabalhos voltados para simulação numérica de reservatório específica para o processo de seqüestro de CO<sub>2</sub> em aquíferos salinos.

Na seqüência é mostrada a metodologia elaborada, baseada nas informações encontradas após a revisão bibliográfica, para gerar um conjunto de cenários e analisar quantitativamente resultados obtidos por simulação numérica de tais casos.

Em síntese, foi simulado um cenário base e foram gerados casos derivados alterando individualmente as propriedades: profundidade do aquífero, salinidade, vazão de injeção de CO<sub>2</sub>, saturação de água residual, permeabilidade horizontal, permeabilidade vertical e porosidade.

Esta dissertação também se preocupa em descrever os principais conceitos envolvidos na simulação da injeção de CO<sub>2</sub> em aquíferos salinos, e valida alguns dados simulados com dados medidos em laboratório.

Por fim, são apresentados os resultados alcançados, ou seja, quais são os valores das variáveis supracitadas que aumentam a quantidade de CO<sub>2</sub> possível de ser injetada e diminuem o tempo para a injeção, demonstrando a viabilidade do armazenamento de uma maior quantidade de CO<sub>2</sub> em um intervalo de tempo mais reduzido.