



IBMEC SÃO PAULO
Faculdade de Economia e Administração

Rafael Varandas Fernandes

**Aquecimento Global: A Transição para Novas Tecnologias
Limpas**

São Paulo
2008

Rafael Varandas Fernandes

**Aquecimento Global: A Transição para Novas Tecnologias
Limpas**

Monografia apresentada ao curso de Ciências Economias,
como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel
do Ibmec São Paulo.

Orientador: Prof. Eraldo Genin Fiori – Ibmec SP

São Paulo

2008

Fernandes, Rafael Varandas

Aquecimento Global: A transição para novas tecnologias
limpas – São Paulo: Ibmec, 2008.

Monografia: Faculdade de Economia e Administração. Ibmec
São Paulo.

Orientador: Prof. Eraldo Genin Fiori

Rafael Varandas Fernandes

Aquecimento Global: A Transição para Novas Tecnologias Limpas

Monografia apresentada à Faculdade de Economia, do Ibmec como parte dos requisitos para conclusão do curso de graduação em Economia.

Aprovado em Dezembro 2008

EXAMINADORES

Prof. Dr. Eraldo Genin Fiori

Prof. Dr. Roberta Muramatsu
Examinador(a)

Prof. Dr. Priscila Claro
Examinador(a)

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha mãe, Maria Isabel Varandas, por sempre acreditar e investir no meu futuro.

Resumo

Um extenso numero de evidências científicas indicam que o Aquecimento Global é um problema real, causado principalmente pela ação do homem desde a Revolução Industrial, através da emissão de gases do efeito estufa (GEE), gerado principalmente pela queima de combustíveis fósseis na produção energética, industria e transporte.

Mudanças Climáticas, proveniente das emissões de GEE, são uma externalidade. Dessa forma, é ofertada uma quantidade ineficiente do produto, que é maior do que quando levado em conta os custos sociais e também apresenta um preço menor. Para conter o aumento nas emissões e consequentemente evitar futuros danos ao clima do planeta, os gases do efeito estufa devem ser estabilizados na atmosfera. A estabilização deve acontecer com uma transição para uma economia limpa, menos poluente. Para isso, novas tecnologias, menos dependentes na queima de combustíveis fósseis e mais eficientes devem conduzir esse processo.

No decorrer do tempo, a forma e a gravidade como o Aquecimento Global e a transição para novas tecnologias foi abordado, mudou ao passo que novas descobertas científicas foram feitas. Em 1983, a comissão Brundtland introduziu o conceito de desenvolvimento sustentável. A Agenda 21, em 1992, de início a importância de novas tecnologias para o crescimento sustentável, inclusive a transferência de know-how entre nações . Já o Protocolo de Kyoto em 1998, criou um tratado de redução nas emissões de caráter global. Por último, o relatório Stern, 2006, da uma abordagem geral da economia do problema, descrevendo como de extrema urgência a natureza do problema e também políticas para combate-lo.

A inovação tecnológica é essencial para que o custo de novas tecnologias seja reduzido. Devido a uma série de falhas de mercado, o setor privado não conseguirá sozinho ofertar a quantidade necessária de tecnologias limpas. Cabe ao Estado identificar e dar soluções para essas barreiras, oferecendo uma estrutura de apoio e incentivo para transição de novas tecnologias.

Palavras Chave: Aquecimento Global, Redução nas Emissões, Tecnologias Limpas, Inovação.

Abstract

An wide number of scientific evidence suggest that the Global Warming is a real problem, caused mainly because of man action since the Industrial Revolution, through the emission of green house gases (GHG) emitted by energy production, industry and transportation.

Climate Change, as a result of GHG emission, is an externality. Thus, the quantity supplied of the product is inefficient, which is bigger than when considered the social cost and also less costly. To reduce emission and consequently avoid future damage for ours planet climate, GHG should be stabilized in the atmosphere. The stabilization should involve the transition for a cleaner economy, in witch new technology, more efficient and less dependent in the burn of fossil fuel, sould lead the way.

Through time, new scientific discovers have changed the way Global Warming and Clean Technologies have been deal. In 1983, the Brudtland commission introduced the the concept of Sustainable Development. The Agenda 21, in 1992, gave the first step in the importance of clean technologies in the creation of a Sustainable Development, including the transfer of know-how between nations. The Kyoto Protocol in 1998, created a trade of world wide emission reduction. Finally, the Stern Report in 2006, gave an geral economic review of the theme, giving an urgency warning of the problem and policies to help solve it.

Technological innovation is crucial to reduce the cost of new technology. Because of the existence of market failures, the private sector will not alone be able to supply the efficient quantity of new technology. The Public should in this way, create a rigid infrastructure of incentives and support.

Key Words: Global Warming, Emission Reduction, Clean Technology, Innovation

Sumário

1 Introdução	7
2 Aquecimento Global	10
2.1 Mudanças Climáticas e Seus Efeitos	10
2.2 Aquecimento Global Como Resultado de uma Externalidade	12
2.3 Custo Social Marginal e Custo Marginal de Abatimento do Carbono.....	13
2.4 Aquecimento Global e Desenvolvimento Econômico.....	16
3 Histórico da Abordagem dada ao Tema	21
3.1 Evolução do Problema.....	21
3.2 Our Common Future	22
3.3 Agenda 21	23
3.4 Protocolo de Kyoto.....	24
3.5 Stern Review	25
4 A Transição para Novas Tecnologias Limpas	26
4.1 O Papel da Inovação	26
4.2 Breve abordagem econômica da inovação.....	27
4.3 Barreiras Econômicas para Inovações de Baixa Emissão de Carbono	29
4.4 Barreiras para implementação de novas tecnologias: Carbono <i>Lock-in</i>	30
4.5 Falhas de Mercado e Barreiras para Inovação Tecnológica nos setores de produção de energia e transporte	33
5 Contexto de Políticas de Suporte na Transição Tecnológica	35
5.1 Indução Tecnológica.....	35
5.2 Políticas de Suporte para Tecnologias Limpas.....	36
6 Conclusão	41
7 Bibliografia	43

1 Introdução

1.1 Pergunta Problema

Nas últimas décadas, cientistas vêm estudando extensivamente o acúmulo de gases como o dióxido de carbono na atmosfera, resultando no efeito estufa. Os números alarmantes dos últimos relatórios e a aceleração de problemas provenientes do aumento da temperatura no planeta geraram preocupação para o futuro do nosso planeta.

Uma alternativa apontada para diminuição das emissões e minimização do impacto das mudanças climáticas foca-se na diminuição das emissões geradas pela queima de combustíveis fósseis. A criação de novas tecnologias mais eficientes e menos dependentes da queima de combustíveis fósseis acarretaria em uma redução na emissão e ajudaria alcançar a estabilização desses gases na atmosfera.

Contudo, tal transição para novas tecnologias, enfrenta diversas barreiras econômicas para sua implementação. O objetivo do trabalho é responder a seguinte questão: Que desafios são enfrentados para transição de novas tecnologias, como a abordagem do tema no passado e os novos estudos ajudam a superar tal problema?

1.2 Objetivo Geral

O objetivo dessa monografia é identificar a natureza do problema de transição de tecnologias atuais, altamente dependentes na queima de combustíveis fósseis, para tecnologias limpas, menos ou não dependentes na emissão de carbono. Tal migração para uma nova tecnologia é peça chave na redução de gases causadores do efeito estufa e consequentemente no combate ao aquecimento global.

1.3 Objetivo específico

O estudo da transição para novas tecnologias, implica na identificação do problema inicial que é o Aquecimento Global, seguido da descoberta e soluções de barreiras que possam impedir a transição para uma economia menos poluente. Nessa etapa inicial será definido o aquecimento global e suas implicações do ponto de vista econômico. A segunda etapa contará com um histórico do tema, como ele foi abordado nos últimos estudos, isso dará base para a parte final onde serão demonstrados estudos atuais, barreiras e políticas de implementação de novas tecnologias.

1.4 Justificativa

Nossa geração já está fadada a futuras mudanças climáticas. O agravamento na concentração de gases causadores do efeito estufa vêm gerando o aumento da temperatura do planeta. Projeções de aumento de 2-5°C na temperatura entre os anos de 2030 e 2060 serão responsáveis por profundos impactos no meio ambiente e na economia. Calcula-se perdas de 5% no PIB mundial que poderão chegar até 20% dependendo do cenário (Stern, 2006). Ações devem ser tomadas imediatamente e de forma conjunta pelo mundo. O papel da informação e pesquisa na área são primordiais para sucesso de qualquer plano de sustentabilidade futura. A pesquisa sobre o custo de transição para novas tecnologias menos dependentes na emissão de carbono torna-se assim não só essencial para redução de gases estufa na atmosfera mas também para uma utilização mais eficiente e consciente dos recursos naturais.

1.5 Resultados Esperados

Ao final dessa monografia espera-se que o leitor tenha um maior conhecimento e percepção da importância e desafios de uma transição necessária para tecnologias menos dependentes na emissão de gases estufa. Ao identificar o problema e descrever sua

importância em diferentes análises ao decorrer do tempo, acredita-se que o leitor estará mais informado e apto para agir em prol do problema iminente que é o aquecimento global. Tem-se também o objetivo de encorajar novos estudos na área com intenção de uma difusão de informações sobre esse problema que acontece em nosso planeta.

2 Aquecimento Global

2.1 Mudanças climáticas e seus efeitos

Nos últimos anos, foi observado um aumento geral na preocupação com o meio ambiente, principalmente em torno de temas como poluição, sustentabilidade e aquecimento global. Com o tempo, o foco e a ênfase dada a esses temas tem mudado de acordo com novas descobertas científicas e gravidade apontada por cada uma. Recentemente, um extenso número de evidências científicas se concentram em torno do problema que as mudanças climáticas, que vêm aumentando a temperatura do planeta Terra, representa.

Segundo o Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC 2007), a definição de Mudança Climática é referente a uma mudança do clima que pode ser observada pela mudança na estrutura e/ou variações de suas propriedades que persiste por longos períodos de tempo, décadas ou mais. Sua definição é referente a qualquer tipo de mudança, seja ela proveniente de ação humana ou fenômenos da natureza.

O aquecimento do clima é inquestionável, a observação de diversas variáveis torna o problema evidente. Primeiramente, desde que começaram os registros de temperatura em 1850, os onze anos mais quentes de todos os tempos estão entre os doze últimos anos, a tendência de aumento da temperatura nos últimos 50 anos foi cerca de duas vezes maior do que a computada nos últimos 100 anos, entre 1906 até 2005. Outros fatores observados com mais intensidade nos últimos 10 anos foram principalmente : aceleração no aumento do nível e da temperatura dos oceanos, média de 3.1mm entre 1993-2003 (comparado com um crescimento médio de 1.8mm entre 1961 e 2003); aumento das áreas de degelo; aumento das áreas afetadas pela seca desde 1970 e aumento da atividade de ciclones principalmente no norte do Atlântico (IPCC 2007).

Dentre as causas do fenômeno do aquecimento global são apontadas: mudanças na concentração de gases do efeito estufa (GEE) e aerossóis, desmatamento e radiação solar. Esses fatores afetam a absorção, distribuição e emissão de radiação solar entre a atmosfera e a superfície do Planeta Terra (IPCC 2007). Este trabalho terá foco na influência do homem no Aquecimento Global a partir do aumento das emissões de gases do efeito estufa.

A mudança na estrutura da atmosfera, a qual é relacionada com o Aquecimento Global, é gerada pela uma maior concentração de gases como dióxido de carbono, metano, óxido nitroso e CFC's . Esses Gases, conhecidos como gases do efeito estufa, vêm sendo emitidos em quantidades crescentes pelo homem desde a pré-industrialização, por volta de 1750, através de queima de combustíveis fósseis , desflorestamento e diferentes usos da terra. Dióxido de carbono, o GEE mais importante emitido pelo homem, teve suas emissões aumentadas em 80% entre 1970 e 2004, provenientes principalmente da produção de energia elétrica, transporte e indústria. Mesmo com uma diminuição de 33% da intensidade da emissão de CO₂ na produção de energia, um aumento da emissão foi observado devido ao aumento do consumo de energia, associado a um crescimento da riqueza mundial em 77% e um aumento de 68% da população (IPCC 2007).

A atmosfera do nosso planeta possui um nível natural de GEE, sua concentração aumenta quando as emissões são maiores que o processo de remoção desses gases consegue absorver, exercido principalmente através dos oceanos e florestas. Na atmosfera, esses gases aumentam a recepção de energia dessa região na superfície, gerando aumento na temperatura.

Segundo Nicholas Stern (Stern, 2006), por volta de 2030-2060, o nível de emissão de gases estufa na atmosfera será o dobro do que na pré-industrialização, o que muito provavelmente aumentará a temperatura do planeta entre 3-5°C. A consequência desse aumento na temperatura, equivalente a diferença de temperatura entre hoje e períodos Glaciais, afetará uma série de variáveis em nosso ecossistema como: intensificação do ciclo da água (reforçando padrões de seca e alagamentos), aumento das áreas desérticas de 1% para 30% do total do planeta, aumento na ocorrência de tempestades, furacões e ciclones, mudanças na circulação dos ventos e logo mudança climáticas locais, aumento do nível dos oceanos entre 5-12 metros no decorrer dos séculos (Stern, 2006).

Resultados apresentados por Stern (2006) indicam que o nosso planeta já está fadado a mudanças climáticas futuras e as temperaturas não irão parar de subir a não ser que o estoque de gases estufa seja estabilizado. A estabilização ocorre ao nível em que o meio ambiente tem a capacidade de retirar esses gases da natureza. Para isso, contando com uma redução de 1-

3% no nível de CO₂ a partir de 2020-2030, a emissão global do gás em 2050 deverá ser 25% menor do que a atual; em termos reais, considerando uma economia que deverá ser de três a quatro vezes maior do que é hoje, a emissão de CO₂ anual deverá estabilizar-se num nível de um quarto do que é hoje (Stern, 2006).

Contudo, tais níveis de estabilização não serão atingidos sem medidas de força maior proveniente das políticas públicas. De acordo com Willian Nordhaus (Nordhaus, 1993), devido o clima ser uma externalidade, indivíduos não produzirão quantidades eficientes de GEE. Enfatiza-se assim, uma pesquisa econômica que balanceie os custos econômicos de mitigação dos GEE com os benefícios de redução de possíveis impactos ambientais futuros.

2.2 Aquecimento global como resultado de uma externalidade

O clima do nosso planeta é um bem público. De acordo com Joseph Stiglitz (Stiglitz, 1986), duas propriedades caracterizam este bem. Primeiramente, o custo marginal de um indivíduo usufruir do clima é zero, em outras palavras, o ato de usufruir do clima por um indivíduo, não exclui outros indivíduos de fazerem o mesmo. Em segundo lugar, e de maior importância, é impossível excluir alguém de usufruí-lo, mesmo com um alto custo. Dessa forma, os retornos sobre investimentos de um bem público são limitados ou inexistentes, o que faz com que mercados não o ofertem ou o ofertem em quantidades não suficientes.

Seguindo a mesmo raciocínio, mudança climática proveniente de ações do homem, principalmente pela emissão de GEE, é considerada uma externalidade pois os agentes que a produzem, geram um custo que não é pago pelos mesmos (Stiglitz, 1986). Ao emitir GEEs, o agente contribuí para a acumulação desses gases na atmosfera que imediatamente piora a qualidade do ar que respiramos e num prazo maior leva ao aquecimento global e todas as conseqüências provenientes desse fenômeno, ou seja, gera custos para a sociedade. Estes custos sociais gerados pela externalidade da mudança climática não são considerados na curva de custos marginais da empresa que o emite. Conseqüentemente, a curva de custo marginal privado dessa empresa é menor do que a curva de custo que também considera os custos gerados pela externalidade, a curva de custo marginal social. Sem a consideração desses custos, é ofertada uma quantidade ineficiente do produto, que é maior do que quando levado em conta os custos sociais e também com um preço menor.

É ressaltado por Stern (Stern 2007) que pelo motivo dos efeitos do acúmulo de GEE na atmosfera não ocorrerem de forma imediata, ou até mesmo não ocorrerem enquanto o emissor ainda estiver vivo, existe pouco ou nenhum incentivo por parte do agente em reduzir

as emissões, simultaneamente não há necessidade de compensar os afetados pelo aquecimento global.

Segundo Stern (Stern 2007), mudanças climáticas representam um caso particular no estudo de externalidades, existem quatro pontos distintos a serem considerados: mudança climática é uma externalidade global, o impacto causado pela emissão de GEE independe de onde foi emitido; os impactos causados pela emissão de GEE é persistente e se desenvolve com o tempo; a incerteza do seu potencial, tipo, tempo e custo deve ser considerado; a economia global está sujeita a iminente impacto caso medidas de prevenção do aquecimento global não sejam tomadas.

2.3 Custo Social Marginal e Custo Marginal de Abatimento do Carbono

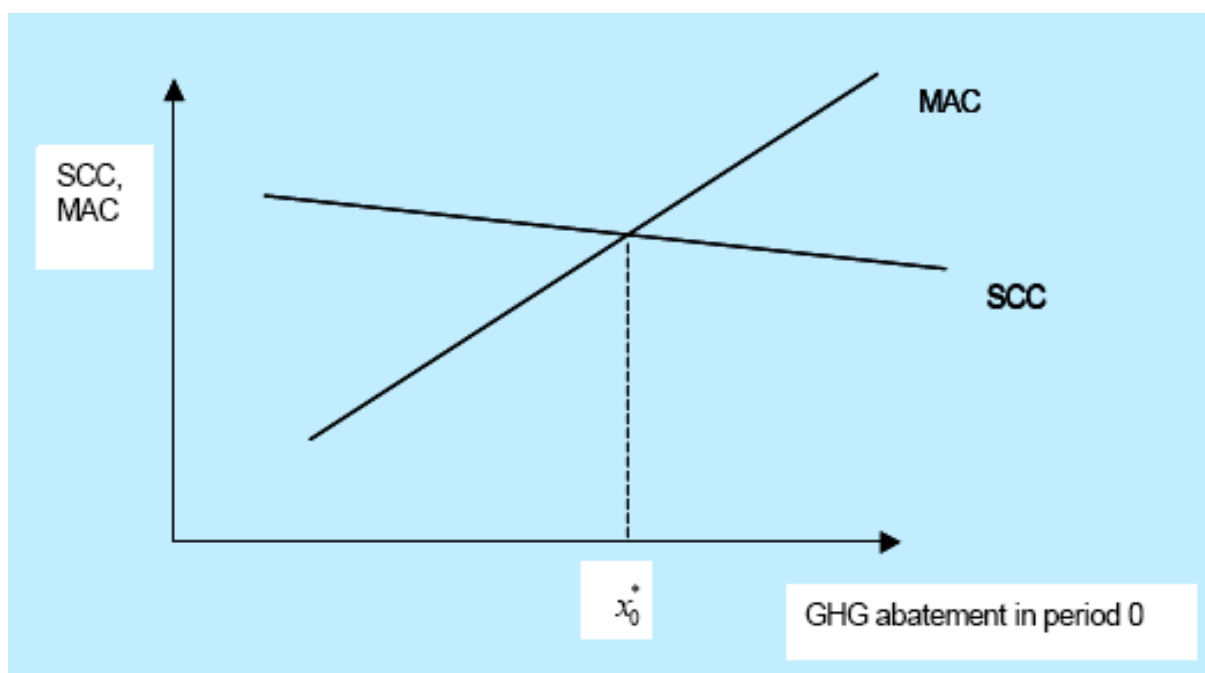
Uma abordagem comum quando se trata de políticas públicas e aquecimento global é dada através das curvas de Custo Social Marginal do Carbono (SCC) e o Custo Marginal de Abatimento (MAC).

A primeira, refere-se ao total de danos causados de hoje até um futuro indefinido da emissão de uma unidade extra de GEE hoje (dióxido de carbono e outros gases em tremo equivalentes). Estudos científicos apontam que os GEE, principalmente o carbono, ficam na atmosfera por longos períodos de tempo (Stern 2007). Segundo Nordhaus (Nordhaus 2001), é também incorporada nessa função, a capacidade de absorção desses gases pelo meio ambiente como por exemplo: mudança nas áreas de cultivo de alimentos e perda de terras pelo aumento do nível dos oceanos. A natureza do problema segue o raciocínio de que o estoque de GEE na atmosfera aumenta com as emissões, e assim todos os problemas relacionados como efeito estufa. Dessa forma, a curva SCC é inclinada para baixo pois dado um período de tempo, um aumento no abatimento desses gases leva a um estoque menor dos mesmos no futuro, gerando menores danos marginais (Stern 2007). Nordhaus (Nordhaus 1991) aponta uma abordagem alternativa para a curva de custos sociais marginais, que leva em conta vantagens provenientes do aquecimento global, a curva assume assim, um formato ondulado, onde a fertilização pelo CO₂ ou a atratividade por climas mais quentes pode trazer benefícios econômicos. Essa abordagem não será considerada no trabalho devido ao fato de que dados mais atuais mostram que os danos causados pelo aquecimento têm um impacto muito maior na economia mundial do que os seus quase insignificantes ganhos.

Já a segunda curva, a curva de Custo Marginal de Abatimento ou simplesmente MAC, é inclinada para cima pois em dado período de tempo, um aumento no abatimento dos GEE torna mais custoso o abatimento de uma unidade extra. Em outras palavras, o custo que a economia tem para prevenir ou desacelerar o aquecimento global através de transição para novas tecnologias menos dependentes na queima de combustíveis fósseis ou na construção de barragens contra inundações como exemplo, se torna cada vez mais custoso ao passo que cada vez mais novas medidas de abatimento devem ser tomadas e as opções ficam cada vez mais escassas (Nordhaus 1991).

O nível ótimo de abatimento de GEE é atingido quando a MAC e SCC se cruzam. Quando a MAC é superior a SCC, o ganho social de abatimento de uma unidade de GEE não compensa o custo social de fazer o mesmo, do mesmo modo, quando SCC é superior, o benefício marginal de abatimento é maior do que o custo marginal. O Gráfico 1 a seguir demonstra a relação entre as duas curvas.

Gráfico 1: Relações entre curvas MAC e SCC.



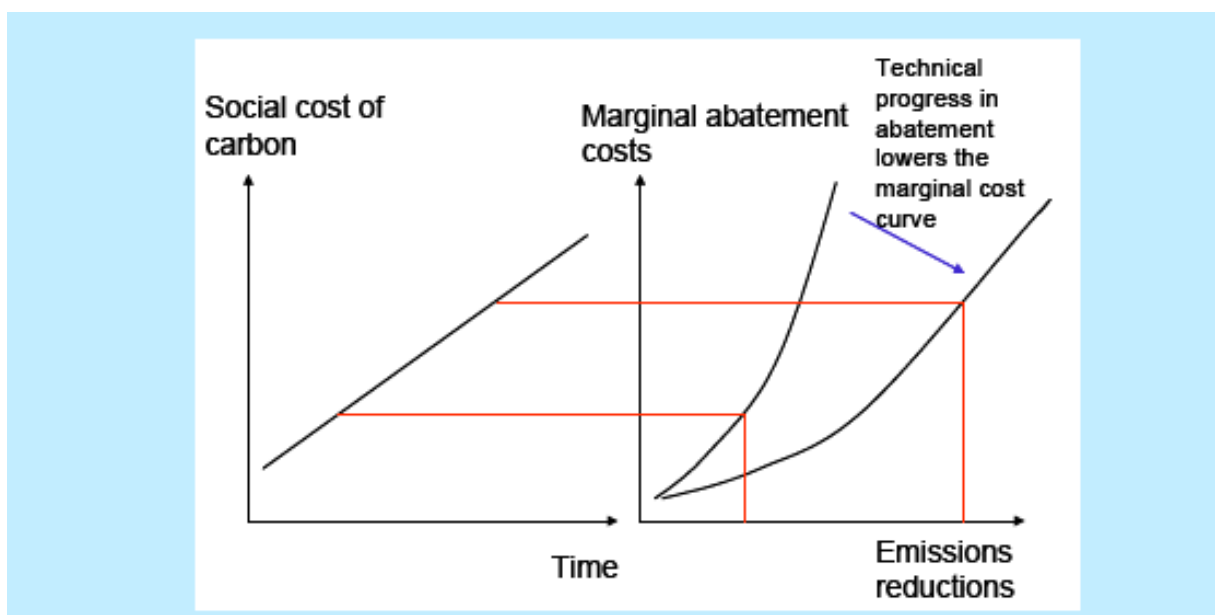
Fonte: Gráfico retirado do relatório Stern Review (Stern, 2006) presente no capítulo 2 *Economics, Ethics and Climate Change*.

Do equilíbrio das duas curvas pode-se inferir uma mensuração dos custos e benefícios de políticas públicas. A área embaixo da SCC representa os danos causados em cenários sem nenhum controle de emissão. Ao se adotar políticas de abatimento, a área entre

as duas curvas representa os ganhos provenientes dessas políticas enquanto a área sob MAC ,até o ponto em que as duas curvas se cruzam, representa o custo das mesmas. Dessa forma, num cenário com políticas de abatimento, existe redução dos danos e ganhos provenientes dessa medida.

Contudo, outros pontos importantes saem desse modelo e melhor apontam uma solução para o problema. Primeiramente, nenhuma curva SCC pode ser desenhada ou calculada sem levar em considerada a trajetória de emissões futuras. Se assumirmos um aumento de emissão de GEE no futuro, toda SCC iria se deslocar para cima, aumentando o nível ótimo de abatimento naquele período. É muito provável que a SCC se desloque para cima com o tempo uma vez os estoques de GEE crescem com as emissões até o ponto que essas se estabilizem. Dessa forma, para atingir um nível ótimo, a MAC também deve se deslocar para cima, gerando sempre um aumento no abatimento ótimo. Mesmo com a suposição de que a MAC se deslocaria para baixo no futuro devido ao processo de avanço tecnológico e aprendizagem, a curva assumiria um deslocamento para cima. Isso ocorre devido a dinâmica de otimização. A Posição da SCC no tempo depende do nível de estabilização almejado de GEE na atmosfera, que por sua vez, depende de como o valor esperado das utilidades descontadas dos benefícios e custos de mitigação variam no decorrer do tempo com mudanças nos níveis de estabilização. Por esse motivo, o que acontece com o custo de abatimento no decorrer do tempo implica na decisão do alvo para a estabilização dos GEE. O Gráfico 2 a seguir ilustra esse raciocínio.

Gráfico 2: Relações temporais da MAC



Fonte: Gráfico retirado do relatório Stern Review (Stern, 2006) presente no capítulo 2 *Economics, Ethics and Climate Change*

2.4 Estabilização dos GEE na Atmosfera e Redução nas Emissões.

A secção a seguir é baseada no trabalho de Stern (2006). O objetivo aqui é apresentar os níveis de estabilizações dos GEE na atmosfera e sua relação com as mudanças climáticas. Feito isso, taxas de redução na emissão seguem como consequência para que o patamar de estabilização dos gases seja mantido.

Independente de futuras medidas de redução nas emissões, o planeta Terra já está fadado a mudanças climáticas irreversíveis. O estoque de GEE na atmosfera está em 430 ppm CO₂ equivalente, medida que toma o efeito estufa dos gases em termos de dióxido de carbono. Anteriormente a Revolução Industrial, período de pouco impacto do homem no meio ambiente, os níveis de GEE na atmosfera eram de 280 ppm CO₂ equivalente. Grande parte do aumento das emissões, é atribuído, como já comentado anteriormente, pela ação humana, principalmente através da produção energética, indústria, transporte e uso da terra. O aumento das emissões está altamente correlacionado com o crescimento do PIB dos países no tempo, desde 1850, 70% das emissões acumuladas são atribuídas aos E.U.A e Europa, países em desenvolvimento representam menos de 25% das emissões acumuladas (Stern, 2006)

Contudo, não apenas o acúmulo de GEE vêm aumentando na atmosfera, a taxa com que isso acontece também aumentou com o tempo. De 1950 até 2000, emissões aumentaram a uma taxa de 2,5% ao ano, já no ano de 2000 a taxa estava em 2,7 ppm CO₂ equivalente por ano. Sem mudanças significativas nas emissões, é estimado que em 2035 o estoque de GEE na atmosfera alcance 550 ppm CO₂ equivalente (CO₂e), crescendo cerca de 4,5 ppm CO₂e ao ano com a taxa se mantendo em crescimento. Países em desenvolvimento são apontados como os responsáveis pelo aumento das emissões devido o aumento na produção e população, somente a China seria responsável por um terço desse aumento. A redução das emissões deve ser feita através de políticas mundiais e coordenadas. Apenas a escassez dos recursos naturais como carvão e petróleo, não serão suficientes para inibir o aumento nas emissões. O estoque desses recursos naturais, hidrocarbonetos, são mais do que o suficiente para levar o aumento das emissões a níveis alarmantes e altamente perigoso para a condição climática do nosso planeta, cerca de 750 ppm CO₂e (Stern 2006).

O contínuo aumento da taxa de emissões e conseqüentemente o aumento do estoque de GEE na atmosfera, se não combatidos, levarão o mundo a sofrer mudanças climáticas

profundas, que impactarão drasticamente no nosso estilo de vida. A temperatura da Terra continuará aumentar caso o nível de gases do efeito estufa não seja estabilizado. Por estabilização desses gases, entende-se ser o nível de emissões anuais no qual a o nosso planeta tem a capacidade de remover/ absorver naturalmente esses gases, tornando sua concentração na atmosfera estável.

Porém, a relação entre a estabilização dos GEE na atmosfera e o aumento na temperatura do planeta não é tão clara e precisa. Diversos estudos divergem nos resultados apresentados e nas previsões para o futuro. A Tabela 1 apresentada a seguir, demonstra estudos que prevêem tal relação entre determinado nível de estabilização e a probabilidade de que o mesmo leve a um aumento na temperatura do planeta que excedam os níveis pré-industriais. A cor utilizada nas células é referente ao valor presente nelas, o verde é representa a probabilidades menores do que 10%, a amarela de 11-40%, laranja de 41-60% e a vermelha de 61% para mais.

Tabela 1: A relação entre níveis de estabilização e Mudanças Climáticas

Stabilisation Level (CO ₂ e)	Maximum	Hadley Centre Ensemble	IPCC TAR 2001 Ensemble	Minimum
Probability of exceeding 2°C (relative to pre-industrial levels)				
400	57%	33%	13%	8%
450	78%	78%	38%	26%
500	96%	96%	61%	48%
550	99%	99%	77%	63%
650	100%	100%	92%	82%
750	100%	100%	97%	90%
Probability of exceeding 3°C (relative to pre-industrial levels)				
400	34%	3%	1%	1%
450	50%	18%	6%	4%
500	61%	44%	18%	11%
550	69%	69%	32%	21%
650	94%	94%	57%	44%
750	99%	99%	74%	60%
Probability of exceeding 4°C (relative to pre-industrial levels)				
400	17%	1%	0%	0%
450	34%	3%	1%	0%
500	45%	11%	4%	2%
550	53%	24%	9%	6%
650	66%	58%	25%	16%
750	82%	82%	41%	29%
Probability of exceeding 5°C (relative to pre-industrial levels)				
400	3%	0%	0%	0%
450	21%	1%	0%	0%
500	32%	3%	1%	0%
550	41%	7%	2%	1%
650	53%	24%	9%	5%
750	62%	47%	19%	11%

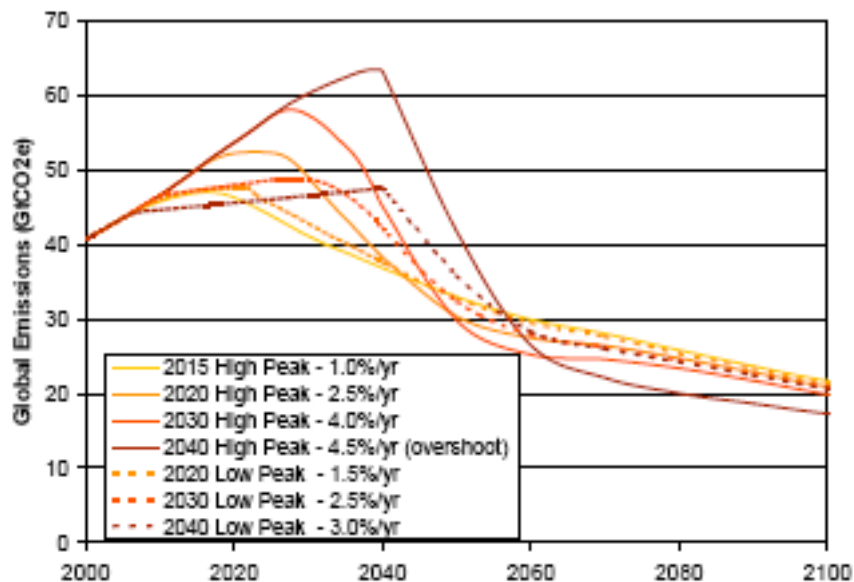
Fonte: Tabela retirada do Relatório Stern publicado em 2006. A tabela está presente no capítulo 8, *The Challenge of Stabilization*.

Segundo a Tabela 1, uma estabilização dos GEE em um nível de 550 ppm CO₂e, teria uma probabilidade de 21-69% de chance de causar um aumento de 3°C relativos aos níveis pré-industriais, por exemplo. A tabela foi construída com base nos estudos de Meinshausen (2006), o qual resume e compara 11 estudos atuais sobre a sensibilidade do clima a níveis de emissão e mudanças da temperatura, cada estudo segue diferentes critérios de avaliação e seus valores devem ser tomados como aproximados. A coluna da esquerda e da direita, respectivamente o máximo e mínimo, representam as estimações mais pessimistas e otimistas sobre as mudanças na temperatura. Os valores das duas colunas centrais, representam valores medianos dos 11 estudos. A discrepância entre modelos dependem de variáveis incluídas e diferentes taxas de desconto adotadas. O recente estudo de Hadley Centre, conduzido por Murphy (Murphy et al., 2004), e que pode ser observado na coluna da central da esquerda, leva em consideração a relação aumento da temperatura com a capacidade do sistema natural, vegetação, solo e oceanos; em absorver o dióxido de carbono.

Assim, diferentes níveis de estabilização requerem diferentes estratégias de redução nas emissões e também oferecem diferentes impactos no clima, uma estabilização a 500ppm CO₂e requer níveis de reduções futuros maiores do uma estabilização a 650ppm CO₂, contudo a chance de um aumento na temperatura acima de 3°C é de 11-61% a 500ppm CO₂e comparado com 44-94% com a estabilização em 650 ppm CO₂e.

Existe diversas estratégias de trajetória de redução das emissões a qualquer nível de estabilização. O nível de emissões pode ter seu pico, maior nível de emissões e acúmulo de GEE na atmosfera, mais cedo e reduzir as emissões para se manter na estabilização desejada gradualmente, ou se não, pode-se atingir esse pico mais tardiamente e adotar cortes nas reduções mais drásticos nos seguintes anos. O Gráfico 3 a seguir mostra seis caminhos diferentes de se alcançar uma estabilização a um nível de 550 ppm CO₂e.

Gráfico 3. Caminhos para a estabilização a 550 ppm CO₂e



Fonte: Gráfico retirado do Relatório Stern publicado em 2006. A tabela está presente no capítulo 8, *The Challenge of Stabilization*. Os dados calculados são referentes ao modelo SiMCaP EQW utilizado por Meinshausen (Meinshausen et al. 2006)

Observa-se que não só o tempo em que o pico é adotado importa para a taxa de redução nos anos seguintes, o nível das emissões, ou a altura, que o mesmo alcança é crucial para a redução nas emissões. Por exemplo, considerando no gráfico para uma redução a 550 ppm CO₂e, com o pico alcançado em 2020, a taxa de redução é de 1,5% ao ano para emissões ao nível de 48Gt CO₂ contra 2,5% se o mesmo pico for alcançado com emissões em 52 Gt CO₂. A medida de emissão anual de GEE colocados em termos de dióxido de carbono equivalentes, GT CO₂, tem uma relação com a medida anteriormente usada para concentração desses gases na atmosfera, ppm CO₂e, na proporção de que a cada 8 Gt CO₂ emitido, o estoque de GEE na atmosfera aumente 1 ppm CO₂e.

A seguir é apresentada na Tabela 2, referente ao estudo de Meinshausen (Meinshausen et al. 2006), que utiliza do modelo SiMCaP EQW para efetuar seus cálculos e previsões, os resultados apresentados devem ser tratados como indicadores das emissões requeridas. O estudo explora a sensibilidade das taxas de redução ao nível de estabilização ; 450, 500 e 550 ppm CO₂e; e o tempo em que o pico é alcançado, de 2010 a 2040 com intervalos de 10 anos. A coluna central é referente a taxas requeridas de redução da emissão após o pico da mesma ,

o valor calculado para taxa é a estimativa para os 10 anos seguintes do pico. As colunas da direita são referentes a porcentagem de redução das emissões comparando com os níveis de 2005 para os anos de 2050 e 2100.

As células sem valores são referentes a níveis de estabilização não alcançáveis a uma taxa de redução menor do que 10% ao ano. Os números em cinza claro e itálico representam cenários onde ocorre *overshoots*, ou seja, metas de redução não são atingidas e o nível de estoque ultrapassa o valor alvo de estabilização. Os valores em colchetes são respectivamente: [1] cenário de 520 ppm, [2] 550 ppm e [3] 600 ppm, todos com no máximo 10% de ultrapassagem do valor alvo de estabilização.

Tabela 2 – Sensibilidade das taxas de redução da emissão em relação ao tempo do pico e o nível de estabilização

Stabilisation Level (CO ₂ e)	Date of peak global emissions	Global emissions reduction rate (% per year)	Percentage reduction in emissions below 2005* values	
			2050	2100
450 ppm	2010	7.0	70	75
	2020	-	-	-
500 ppm (falling to 450 ppm in 2150)	2010	3.0	50	75
	2020	4.0 - 6.0	60 - 70	75
	2030	5.0[1] – 5.5 [2]	50 - 60	75 – 80
	2040	-	-	-
550 ppm	2015	1.0	25	50
	2020	1.5 – 2.5	25 – 30	50 – 55
	2030	2.5 – 4.0	25 – 30	50 – 55
	2040	3.0 – 4.5 [3]	5 – 15	50 – 60

Fonte: Tabela retirada do Relatório Stern publicado em 2006. A tabela está presente no capítulo 8, *The Challenge of Stabilization*. Os dados calculados são referentes ao modelo SiMCAp EQW utilizado por Meinshausen (Meinshausen et al. 2006)jk

Ações de redução das emissões tomadas anteriormente ao pico, ajudam a reduzir as taxas futuras de corte. Isso pode ser observado em células da tabela onde constam dois valores, um com taxa menor, referente a reduções prévias e um menor nível de emissões no pico, e um maior, com maior nível e sem medidas de cortes prévias.

Certos níveis de estabilização, como ao patamar de 450 ppm CO₂e, são extremamente custosos e de baixa probabilidade que aconteçam sem *overshooting*, isso por que o custo é extremamente alto, cerca de 7% de cortes anuais na redução são necessários a partir de 2010, praticamente impossível com o atual conhecimento tecnológico e levando em consideração a inércia de migração para uma economia menos poluente. Permitido que o estoque de GEE ultrapasse os 450 ppm CO₂e até por exemplo 500 ppm CO₂e, com pico em 2010, reduziria as taxas de corte nas emissões para 3%. Porém ao permitir o *overshooting*, um grande risco é tomado devido a uma série de incertezas sobre mudanças climáticas irreversíveis ou a capacidade de absorção da meio ambiente em temperaturas mais altas. Segundo Murphy (Murphy et al., 2004), o aumento da temperatura impactaria na capacidade de absorção de CO₂ por plantas e oceanos, fazendo com que a estabilização dos GEE seja dificultada e exija cortes nas emissões mais rapidamente e um menor pico de acumulação de GEE na atmosfera.

Já para um nível de estabilização de 550 ppm CO₂e, emissões devem ser reduzidas entre 1-3% caso o pico seja alcançado nos próximos 10-20 anos respectivamente. Isso levaria a uma redução de cerca de 25% das emissões em relação aos dias de hoje numa economia três vezes maior em 2050.

Níveis de estabilização devem ser escolhidos levando em consideração os possíveis impactos do aumento de temperatura. Para uma estabilização nos níveis de 450-550 ppm CO₂e medidas concretas devem ser tomadas desde já para assegurar que o pico das emissões ocorra nos próximos 10-20 anos e taxas de redução nas emissões sejam reduzidas. Para isso, a transição para uma economia limpa, menos dependente na queima de combustíveis fósseis, depende de avanços na tecnologia existente para que o custo de fazer o mesmo seja economicamente viável e impactos no nosso estilo de vida sejam minimizados. O capítulo 3 abordará com mais profundidade esse tema.

3 Histórico da Abordagem dada ao Tema

3.1 Evolução do Problema

O aumento geral na preocupação com o meio ambiente, iniciado nas últimas décadas, principalmente em torno de temas como poluição, sustentabilidade e aquecimento global, é um reflexo de como esse impacto modifica e ameaça a economia e a sociedade em geral. Com o tempo, o foco e a ênfase dada a esses temas tem mudado de acordo com novas descobertas científicas e gravidade apontada de cada uma. Discussões sobre o tema na década de 80 tinham suas atenções voltadas para a exploração predatória do homem por recursos naturais e a poluição gerada pelo crescimento econômico e a produção industrial. Temas como sustentabilidade eram o foco dos estudos. No final do século passado e início do século XXI contudo, número alarmante no aumento das emissões de gases do efeito estufa e amostras de que o clima do mundo poderia estar mudando, fez com que as atenções fossem voltadas para o aquecimento global e o controle de emissões.

O objetivo desse capítulo é identificar as diferentes abordagens dada ao tema nos quatro maiores e mais importantes relatórios mundiais e assim poder identificar e ter base para tratar dos problemas apontados hoje.

3.2 Our Common Future (Brundtland Report)

Em 1983, a comissão Brundtland foi organizada pelo World Commission on Environment and Development (WCED). Seu objetivo era especificar a crescente preocupação com a rápida deterioração do meio ambiente e seus recursos naturais, e como isso impacta na deterioração da economia e do desenvolvimento social. A idéia principal transmitida pela comissão era de estudar desenvolvimento e meio ambiente como se fossem uma coisa apenas. Fruto da comissão foi o conceito de Desenvolvimento Sustentável. Para atingir tal desenvolvimento sustentável, grande ênfase foi dada a tecnologias mais eficientes, que necessitam menos insumos na produção de energia e bens. É ressaltado uma certa cautela no uso de tecnologias de produção de energia mais eficientes mas que oferecem maiores riscos a natureza, o caso da energia nuclear (Our Common Future, 1987).

A comissão do Our Common Future apontou as crises existenciais do planeta e criou a definição do conceito de Desenvolvimento Sustentável para melhor focar ações, planos e atenções. O conceito de Desenvolvimento Sustentável é dado por: “Desenvolvimento Sustentável é o desenvolvimento que supre as necessidades do presente sem compromissar a habilidade de gerações futuras de suprirem suas próprias necessidades.” No conceito ainda é

destacado duas idéias fundamentais: o conceito de “necessidades” é referente a necessidades essenciais para os pobres do mundo que devem ter prioridade e a idéia de que o meio ambiente possui limitações para suprir tais necessidades com os níveis de organização social e tecnologia existentes. (Our Common Future,1987)

Our Common Future aborda o tema de novas tecnologias com foco na produção de energia. A comissão diz que uma trajetória com menor consumo de energia é preferível mas isso não necessariamente deve ser alcançado com a diminuição essencial do uso da mesma mas sim com a utilização de métodos mais eficientes de aproveitamento de insumos. Acreditava-se que por volta de 2040, o homem seria capaz de produzir a mesma quantidade de energia com metade dos insumos, meta atingida com profundas mudanças sócio-econômicas. Tal ganho de eficiência daria tempo para o desenvolvimento e aprimoramento de métodos de produção de energia renovável, o qual seria acompanhado por pressões de preço e escassez dos combustíveis fósseis tradicionais. O avanço da produção de energia sempre foi moldado por pressões de curto prazo de agente governamentais, instituições e empresas. O relatório aponta que era chegada a hora de um desenvolvimento de energias menos aleatório e mais consciente do meio ambiente e de sua sustentabilidade para o futuro.

3.3 Agenda 21

Em 1992, a Organização das Nações Unidas formou a Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, a qual teve lugar no Rio de Janeiro no ano de 1992. A intenção era planejar uma ação de magnitude global, nacional e local, tomadas pela própria ONU, governantes e outros grupos; enfatizando um desenvolvimento sustentável. Grande importância foi dada a disseminação de tecnologias conscientes no meio ambiente, menos ou não poluentes e insumo eficientes, para todos os países e povos inclusive com transferência de know-how (Agenda 21,1992).

Essa agenda visa capacitar agentes multissetoriais locais (agentes governamentais, sociais e empresariais) a gerir projetos, empreender e administrar tornando-os capazes de atingir uma autonomia sustentável e econômica. Agenda 21 aposta na ação em esferas menores ao contrario de ações macro, argumento que são essas as detentoras do conhecimento dos problemas, e assim serem mais capacitados a encontrar soluções mais adequadas à sua resolução.

No meio da comunidade científica e tecnológica, propõem-se a abertura e expansão do processo de tomada de decisões. Questões de desenvolvimento e meio ambiente devem ser ampliadas para que diferentes níveis; comunidade científica e tecnológica e responsáveis por decisões; possam ter cooperação. Para melhoria na formulação, compreensão e apoio de políticas e programas, um melhor intercâmbio entre a comunidade científica e tecnológica e o público geral deve ser estabelecido. Comunidade científica e sociedade devem estar juntas também no desenvolvimento de códigos de conduta relativos à ciência e a tecnologia. Dessa forma, o objetivo principal é que a população como um todo se conscientize do importante papel da tecnologia e ciência na compatibilização de necessidades do meio ambiente e desenvolvimento econômico.

Outro importante ponto ressaltado na Agenda 21 é a transferência de tecnologia ou Know-How. A transferência das tecnologias ambientalmente saudáveis, tecnologias menos ou não poluentes que usam os recursos de forma mais sustentável, tem como prioridade o aumento da capacidade, principalmente de países em desenvolvimento, para alcançar o desenvolvimento sustentável, sustentar a economia mundial, proteger o meio ambiente mitigar a pobreza e sofrimento humano. O objetivo dessa transferência é desenvolvimento dos recursos humanos, fortalecimento de instituições para implementação de programas, garantir o acesso de países em desenvolvimento à informação científica e tecnológica, promover parcerias tecnológicas de longa duração, estimular a inovação tanto do setor público quanto privado, estabelecer uma rede de colaboração e centros de pesquisa e apoio a programas de cooperação e assistência.

É importante ressaltar que todas essas medidas tem como foco principal um crescimento sustentável. Crescimento que, segundo a Agenda 21, deve se abordado com precaução e transparente comunicação entre os núcleos envolvidos para que não só interesses governamentais e não governamentais sejam expressos, e sim de toda sociedade.

3.4 Protocolo de Kyoto

Em 1997 em Kyoto, Japão, foi criado a partir da Convenção das Nações Unidas sobre Mudanças Climáticas um protocolo que visava equacionar a proteção dos sistema climático da Terra. Foram estabelecidos compromissos para a redução de GEE com participação de

Países Desenvolvidos e economias em transição. Foi proposto que países desenvolvidos deveriam entre o período de 2008 e 2012 reduzir a emissão de gases do efeito estufa em no mínimo 5.2% em relação aos níveis de 1990, o que corresponde a uma redução de 15% em relação ao esperado para 2008.

No primeiro período de compromisso, entre 2008 e 2012, países receberam diferentes metas de redução de emissões de GEE, 7% para Estados Unidos da América, 8% para União Européia, 6% para o Japão por exemplo, outros países possuíram um aumento das emissões permitidos como no caso de Austrália, Islândia e Noruega. A criação de mecanismos flexíveis de comércio de emissões possibilita países atingirem as metas estabelecidas pelo Protocolo de Kyoto mesmo que suas emissões domésticas não atinjam o nível estabelecido. Esses mecanismos foram criados para países e setores que ainda necessitam um maior tempo de transição para novas tecnologias e adaptações de consumo e produção. Dentre esses mecanismos flexíveis estão o Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e a Implementação Conjunta, que são responsáveis também pela utilização de florestas e terras agrícolas por exemplo, para abater metas de carbono.

O instrumento do MDL dá a possibilidade a países desenvolvidos, caso não consigam atingir as metas de emissão, realizar o mesmo através de compra de créditos de carbono de outros países. Assim não só é criado o primeiro mercado internacional oficial para o comércio de créditos de carbono mas também é gerado um incentivo a métodos produtivos não poluentes que gerem créditos para a venda nesse mercado.

Para entrar em vigor, o Protocolo de Kyoto tinha dois critérios. Primeiramente, 55 países membros da Convenção sobre o Clima deveriam ratificar e aderir ao protocolo. Em segundo lugar, nesse número estariam listados os países membros industrializados, os quais são responsáveis por 55% das emissões de dióxido de carbono no planeta.

3.5 Stern Review

Stern Review on the Economics of Climate Change é um dos maiores e mais discutidos relatórios dessa categoria no mundo. Criado pelo economista Lord Stern em 2006,

tem como principal objetivo o estudo do aquecimento global e seu impacto na economia mundial.

O relatório Stern, enfatiza que se ações para redução de emissões não forem tomadas, o custo das mudanças climáticas poderá afetar o PIB mundial em torno de 5% do presente para eternidade, com previsões mais pessimistas podendo chegar a 20% do PIB. Segundo o Stern (2006), investimentos para o corte nas emissões, e assim evitar piores mudanças, se limitariam a 1% do PIB. O Relatório da prioridade a estudos de comércio de emissão de gases estufa, investimento em novas tecnologias pouco dependentes do carbono, adaptação e reflorestamento. Ainda é ressaltado que o investimento em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias para produção de energia devem dobrar e ao incentivo para distribuição de energias menos dependentes do carbono deve quintuplicar.

Para efeitos efetivos no combate das mudanças climáticas, é indispensável uma transição para novas e superiores tecnologias em setores como produção de energia, transporte e uso da energia. Para estimular o desenvolvimento de um portfólio de tecnologias pouco dependentes na queima de combustíveis fósseis e para diminuição dos custos de transição, o relatório Stern sugere uma maior colaboração entre governos e indústrias, as quais são as principais investidoras em pesquisa e desenvolvimento. O preço da emissão do carbono irá com taxas de emissão, créditos de carbono, regulações e contratos, incentivar o investimento em pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, mas somente essas medidas não serão suficientes para atingir os níveis de emissão almejados.

4 A Transição para Novas Tecnologias Limpas

4.1 O Papel da Inovação

A implementação de tecnologias mais eficientes e menos dependentes no carbono é crucial para que níveis de estabilização dos GEE na atmosfera sejam atingidos. A difusão de tecnologia acelera o processo de transição para uma sociedade com baixa emissão de carbono. Contudo, novas tecnologias, quando existentes, não são competitivas em preço quando comparadas com tecnologias dependentes da queima de combustível fóssil existentes. Essas novas tecnologias dependem de ganhos de escala e investimento em inovações para se

tornarem competitivas, através de reduções no custo de aprendizado (Stern 2006). Esse assunto será discutido com mais profundidade no seguimento do capítulo. Outras tecnologias simplesmente ainda não existem e dependente de investimentos em P&D para direcionar estudos.

Inovação é essencial para que custos de novas tecnologias sejam reduzidos. O Departamento de Comércio e Indústria do Reino Unido define inovação como sendo a exploração bem sucedida de novas idéias (DTI, 2003). Segundo Freeman (1987), uma mudança para uma economia com baixa emissão de GEEs representa uma mudança no sistema tecnológico, que ocorre quando série de inovações radicais, inovações que levam a uma significativa mudança no método de produção, acontecem em diversas áreas da economia. Dessa forma, estudar a fundo o tópico sobre inovação se mostra fundamental para compreender o processo de transição para novas tecnologias.

4.2 Breve abordagem econômica da inovação

Economistas sempre se preocuparam em descobrir e colocar em seus modelos os motores para o crescimento econômico, seja ele feito através de acúmulo de capital físico, humano ou através de ganhos de produtividade definidos por aprendizado e tecnologia. Contudo, foi de Joseph Schumpeter (1911/1934) a primeira tentativa de abordagem econômica da inovação na primeira metade do século XX. Schumpeter identificou o que é geralmente referido como modelo linear de inovação, ou seja, o processo de inovação ocorre em três etapas: *invenção* como a primeira apresentação prática de uma idéia, *inovação* como a primeira aplicação de uma invenção no mercado e *difusão* como a proliferação da inovação ou processo no mercado. Nesta última etapa, a difusão da inovação assume uma curva em formato de “S”, no início a nova tecnologia se espalha de forma lenta, depois decola e passa por um rápido crescimento até começar a diminuir o ritmo com a saturação do mercado. A metáfora do autor, “destruição criativa”, referente a substituição de firmas e produtos antigos por novos através da inovação, é de grande influência para estudos do processo criativo até hoje. Por outro lado, a abordagem de Schumpeter é hoje vista como simplista e existem críticas que argumentam que

é enfatizado em seu trabalho as conseqüências da inovação, mas pouca ênfase é dada ao processo motivador da inovação.

Seguindo a mesma linha de processo contínuo de inovação de Schumpeter, Vannevar Bush (1945) acreditava que para aumentar o resultado esperado de uma nova tecnologia, deveria se investir mais na ponta inicial de novas invenções através de maior investimento em pesquisa e desenvolvimento. Esse processo visa a criação de tecnologia e é impulsionado pelos produtores, ou seja, pela oferta.

A abordagem que visa o conhecimento e é impulsionada pela demanda, em outras palavras, a demanda por produtos e serviços que se adequem as necessidades daquele tempo são mais importantes para impulsionar o processo de invenção, foram primeiramente formuladas por Griliches (1957) e Schmookler (1966). De fato, nos dias de hoje, ambos os movimentos de oferta e demanda são levadas em consideração e possuem importância significativa.

Robert Solow (Solow, 1957) identificou que a maior contribuição para crescimento econômico não era proveniente de aumento da força de trabalho ou produtividade mas sim de um resíduo que ele chamou de mudança técnica. Dessa forma Solow entre outros salientaram a importância da inovação e suas conseqüências num nível de análise macroeconômico.

Utilizando o mesmo modelo linear de inovação, a pergunta levantada no começo da segunda metade do século passado foi qual seria a montante de investimento em pesquisa e desenvolvimento (P&D) necessário para suprir necessidades da economia. Richard Nelson (1959) e Kenneth Arrow (1962a), utilizando princípios neo-clássicos, argumentaram que devido a *spill over* de conhecimento de consumidores e outras empresas, empresas que investiam em P&D não conseguiam se apropriar dos benefícios totais da inovação. Arrow ainda identificou o problema de *Moral Hazard*, que com a entrada do investimento Público para corrigir a falha de mercado gerada pelo *spill over*, o setor privado repassa seus riscos e potenciais lucros, diminuindo os incentivos de investimento em P&D. Estudos posteriores focaram-se na abordagem da criação de patentes e direitos intelectuais, os quais serão abordados mais especificamente no decorrer do capítulo.

4.3 Barreiras Econômicas para Inovações de Baixa Emissão de Carbono

Uma visão superficial do problema da transição para uma economia de baixa emissão de carbono, levaria a especulação de que a economia naturalmente ajustaria seus preços com o aumento dos recursos naturais, as firmas dessa forma, seriam forçadas a investir em P&D para contornar custos e se tornarem lucrativas no longo prazo. Contudo, a natureza da inovação tecnológica, principalmente a relacionada com a baixa emissão, sofre barreiras que a impedem de serem ofertadas em quantidades ótimas, mesmo quando intervenções com políticas de preços do carbono influenciam a economia visando o incentivar pesquisas e desenvolvimento de inovações (Stern 2006).

Primeiramente, segundo Timothy Foxon (2003), o nível de inovação das empresas será menor do que o ótimo social porque o setor privado sofre com o problema de apropriação dos benefícios gerados pelo investimento em inovações. Isso acontece, pois a informação é um bem público, assim, uma nova informação gerada por uma inovação, apresenta praticamente custo zero para ser copiada (Arrow, 1962a). Em outras palavras, uma empresa ao investir em P&D e gerar uma nova tecnologia pode correr o risco de, assim que lançar seu produto inovador, ter o mesmo copiado pelos concorrentes sem que estes tenham arcado com custos de desenvolvimento. Empresas individualmente não são, dessa forma, capazes de capturar o benefício econômico por inteiro, externalidades associadas ao conhecimento tecnológico (*spillover*) irão limitar a inovação (Stern, 2006). De acordo com Stern (2006), existem duas formas de combater os *spillovers*. A primeira seria através do uso de patentes ou qualquer outra forma de proteção ao inovador. Porém, o uso de patentes pode diminuir o benefício social da inovação uma vez que impede o acesso de outros pesquisadores e empresas a informação, dificultando o ganho acumulativo de conhecimento e restringindo a proliferação de novas tecnologias. Patentes não só são incapazes de proteger inovações em processos ou *know-how* (protege mais facilmente produtos do que idéias) mas também não asseguram o lucro da empresa quando utilizadas devido a custos de transação e regulamentações de

monopólios. Uma segunda forma de evitar externalidades de conhecimento seria através de investimento público em inovação, principalmente através de apoio a universidades, taxação em prol da inovação e a oferta qualificada de cientistas.

Em segundo lugar, é ressaltado por Foxon (2003), a existência de barreiras a inovação associadas ao risco e incerteza dos benefícios da mesma. Taxas de desconto, incertezas sobre o efeito das mudanças climáticas e longos períodos até a implementação de projetos são exemplos de barreiras que impedem que inovações sejam ofertadas em quantidades necessárias para a sociedade. Uma possível solução seria a intervenção do setor público em internalizar parte destes riscos e facilitar o mercado para inovação. Contudo, isso pode resultar no efeito do *Moral Hazard*, onde ao se dividir os riscos com o setor público, empresas acabam perdendo também parte dos lucros finais, gerando um desincentivo a investir.

Outros fatores que podem influenciar negativamente numa alocação ótima de recursos em P&D por empresas são indicados por Stoneman (1987) como sendo: presença de outras externalidades no custo e benefícios, informações imperfeitas dos agentes e imprecisão no cálculo de custo devido a variações de preços no mercado. É importante salientar que o fato de empresas não conseguirem prever os futuros benefícios dinâmicos de longo prazo gerados pelas inovações, pode ser considerado uma barreira (Barber e White, 1987).

4.4 Barreiras para implementação de novas tecnologias: Carbono *Lock-in*

Anteriormente, foi abordado uma série de barreiras que impedem a oferta ótima de inovação tecnológica. Seguindo o modelo simplificado dos principais estágios do processo inovador : P&D básica, P&D aplicada, demonstração, comercialização e difusão; essas barreiras se aplicam principalmente nos estágios iniciais que envolvem P&D. Contudo, uma vez que essas inovações conseguem vencer essas barreiras, elas se defrontam com o grande problema de se difundir no mercado.

Para se tornarem competitivas no mercado, o preço de tecnologias não dependentes no carbono, que hoje são mais caras do que as tecnologias dependentes na queima de combustíveis fósseis, devem ter seu preço reduzido. Para isso, é necessário o aumento da produção, o qual gera ganhos de escala e efeitos de aprendizado através de investimentos e experiência na operação (Stern 2006).

Esses benefícios são tratados por Stern em curvas de experiência, apresentados no Gráfico 4. Segundo o autor, novas tecnologias só se tornam viáveis economicamente a partir de investimentos para sua disseminação e com ganhos de aprendizado por utilização, resultando no desenvolvimento de uma experiência de uso.

Gráfico 4: Curvas de Experiência

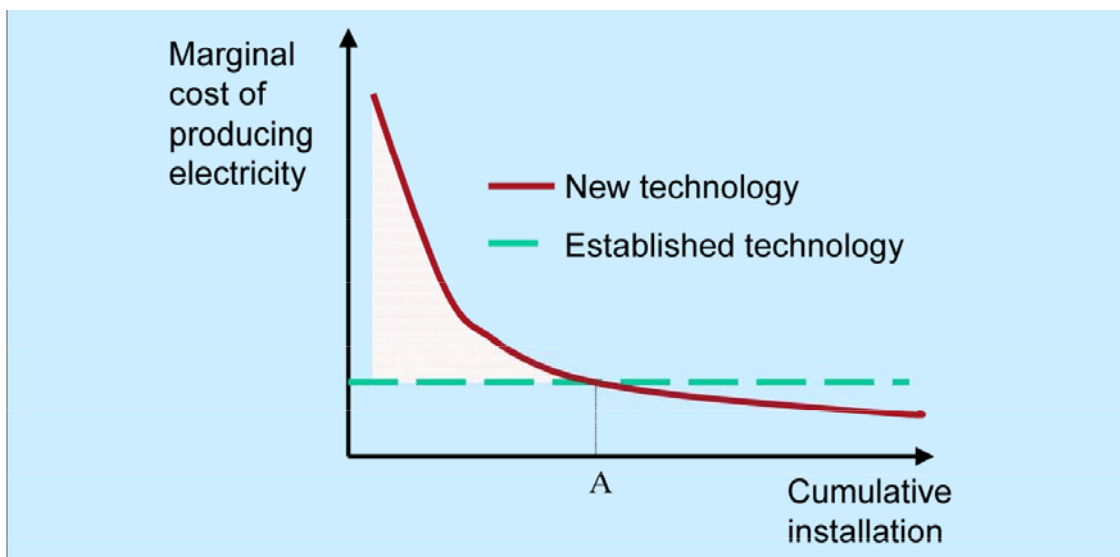


Gráfico retirado do relatório Stern Review (Stern, 2006) presente no capítulo 16 *Accelerating Technological Innovation*

A curva vermelha da nova tecnologia mostra que com o aumento da difusão da nova tecnologia no mercado, seu custo marginal cai devido a ganhos de escala e aprendizado. A diferença de custo entre a tecnologia estabelecida e a nova tecnologia, representado pela área branca no gráfico, é referente ao custo de aprendizado. A tecnologia estabelecida em verde no gráfico, já passou pelo processo de aprendizado enquanto a nova tecnologia concorrente, ainda é dependente desse processo para se tornar competitiva.

Por outro lado, os mesmos benefícios gerados com ganhos dinâmicos no aumento da produção podem levar a um *lock-in* de tecnologias pré-estabelecidas. Segundo Gregory Unruh (2000, 2002) tecnologias não dependentes no carbono podem não conseguir se difundir no mercado, mesmo quando possuem vantagens econômicas e ambientais, isso ocorre devido a economia estar num estado de *lock-in* em tecnologias carbono-intensivas, o que produz persistentes falhas de mercados e política proibitivas. Tecnologia é por natureza um sistema não isolado. Sistema que por sua vez é conectado a uma rede que inclui elementos físicos, sociais e informativos. Essa relação entre tecnologias, infra estrutura, usuários e empresas gera o estado de *lock-in* da tecnologia pré-estabelecida. Isso acontece porque redes físicas e de informação geram valor agregado aos usuários quando crescem e se tornam mais conectadas, resultando numa externalidade positiva de uso da rede, e conseqüentemente reforçando o domínio do sistema (Unruh, 2000-2002).

O estado de *lock-in* de tecnologias carbono-dependentes é intensificado por diversos fatores. Foxon (2003), argumenta que sistemas tecnológicos inovadores são financiados por capital de investimento de empreendedores ou por pesquisas governamentais, o qual por natureza é mais restrito e caro de se obter quando comparado ao capital investidos em programas tecnológicos estabelecidos de baixo risco e lucro previsível. Outro ponto de grande relevância é o papel das instituições na rigidez de sistemas tecnológicos estabelecidos. Instituições reforçam o sistema tecnológico tanto por regras formais, como estruturas regulatórias, ou por sistemas informais de conduta comportamental. No caso de instituições governamentais, a aversão ao risco e a estabilidade alcançada pelo sistema tecnológico inibem a difusão de novas tecnologias (Foxon, 2003). Segundo Unruh (2000, 2002), o estado de *lock-in* é reforçado pelas instituições governamentais também por causa de retornos crescentes do resultado do envolvimento com o sistema tecnológico. A relação tecnológica- institucional cria uma estrutura de incentivos persistentes que exercem grande influência no evolução dos sistemas tecnológicos, reforçando estruturas de instituições, organizações e tecnologias já estabelecidas (Unruh, 2000-2002).

Até agora a discussão sobre barreiras na implementação de novas tecnologias “limpas” foi focado num nível de análise macro. A seguir, será apresentada algumas barreiras no nível dos consumidores e empresas que desincentivam a difusão de novas tecnologias, em outras palavras, uma abordagem micro do problema.

Tecnologias menos dependentes no carbono, quando consideradas na decisão de consumo de empresas e indivíduos, sofrem do mesmo problema de desincentivos que medidas de economia de energia enfrentam, mesmo mais eficientes, não são adotadas. Foxon (2003) indica quatro barreiras principais para o consumo dessas tecnologias. Primeiramente, existe o problema de divisão dos incentivos. Isso acontece pois diferentes personagens usufruem dos custos e benefícios do investimento, ou seja, indivíduos e empresas não possuem incentivos em investir em novas tecnologias quando o beneficiado pelo ganho de eficiência não é absorvido por eles mesmos. Em segundo lugar, existe o problema de seleção adversa. Ao não contabilizar ganhos no longo prazo de maior eficiência, indivíduos não são incentivados a pagar um preço maior a uma nova tecnologia mais cara que a já estabelecida. Em terceiro lugar, tem-se o problema do principal agente e acesso à capital. O fato da existência de informação imperfeita dos indivíduos tomadores de decisão em relação aos especialistas em tecnologia, gera tomadas de decisões ineficientes. Por último, existem os custos de transação. A decisão de investir numa nova tecnologia incorre custos na busca de informação, negociações, contratos entre outros. Estes custos de transação servem como barreiras para a implementação de uma nova tecnologia, contudo, estes custos equivalem a menos de 10% do que seria salvo com tecnologias mais eficientes e limpas.

Estudo feito por Sorrell (Sorrel et al., 2000) mostra que a decisão de investimento em tecnologia nas empresas sofre concorrência dos mais diversos projetos próprios da empresa e mais lucrativos, que acabam ofuscando a importância do assunto. O autor também ressalta que a falta de informação sobre a emissão de GEE da empresa ou indivíduos faz com que o assunto não tenha devida atenção.

4.5 Falhas de Mercado e Barreiras para Inovação Tecnológica nos setores de produção de energia e transporte

O setor de produção de energia é responsável sozinho por um quarto da emissão total de GEE no mundo. Para atingir níveis necessários de estabilização de GEE na atmosfera, seria necessário uma descarbonização de no mínimo 60% do setor até 2050. Seguindo o setor de produção de energia, o setor transporte ocupa o segundo lugar no nível de emissões com 15% do total. Inovação tecnológica é essencial nesses setores para reduzir emissões e evitar danos mais sérios ao meio ambiente (Stern, 2006). Contudo, estes dois setores possuem algumas características peculiares em relação ao demais quando tratamos de barreiras para inovação e implementação de novas tecnologias. Será dado agora, uma atenção especial para esses dois setores, que além de compartilhar as características já descritas nas seções anteriores, possuem as suas próprias.

Primeiramente será abordado o setor de produção de energia. Na seção anterior foi abordado a importância do processo de aprendizado para novas tecnologias através das curvas de experiência, Gráfico 4. Novas tecnologias passam por um longo processo de aprendizado e implementação até se tornarem economicamente competitivas. Nos estágios iniciais, onde o custo marginal da nova tecnologia é alto quando comparado com a tecnologia estabelecida, empresas poderiam recuperar seus custos de aprendizado caso pudessem vender essa nova tecnologia por um preço mais alto (Stern, 2006). Um exemplo dessa estratégia seria o mercado de telefones celulares. Devida a existência de grupos de pessoas que estão dispostas a pagar mais caro por uma inovação, *early adopters*, fabricantes de celular conseguem cobrir os custos de aprendizado e, com ganhos de escala, reduzem o preço do mesmo aparelho, que se torna competitivo para todo mercado. Contudo, isso não acontece no setor de produção energética. Devida a natureza homogênea do produto, eletrecidade, *early adopters* são praticamente inexistentes nesse setor. Consequentemente, a empresa tem que manter suas operações no prejuízo até ter ganhos de escala e se tornar competitiva. Esse tipo de transição pode levar anos e empresas podem não sobreviver por tempo suficiente (Stern, 2006).

Em segundo lugar, novas tecnologias devem ser compatíveis com a atual infraestrutura da tecnologia atual. Matriz energética centralizada e uso de redes de distribuição já existentes são requisitos básicos para que uma nova tecnologia seja comercialmente viável.

Característica importante do setor energético é o número reduzido de empresas que atuam na produção e o monopólio na distribuição de energia elétrica. As poucas empresas,

quando não apenas uma empresa, possuem pouca pressão de concorrentes para se manterem competitivos e inovar. O controle dessas empresas muitas vezes por parte do governo também inibem o investimento de risco.

Por último, o setor energético não somente tem a presença de falhas de mercado, devido empresas não arcarem com o custo total de suas externalidades, mas também recebem ajudas de políticas governamentais que reforçam a solidez de tecnologias carbono-intensivo atuais. Cerca de \$250 bilhões de dólares foram injetados no setor energético mundial como forma de subsídios em 2005 , segundo a IEA (Stern 2006).

5 Contexto de Políticas de Suporte na Transição Tecnológica

5.1 Indução Tecnológica

Como visto anteriormente, devido à emissão de GEE ser uma externalidade que não é precificada por natureza, na ausência de políticas de suporte a novas tecnologias, mecanismos de mercado não serão fortes o bastante para incentivarem o investimento necessário das empresas em tecnologias limpas. Dessa forma, grande parte da inovação tecnológica é conduzida pelo setor privado, que por sua vez , é induzido por respostas a políticas governamentais, condições de mercado, investimento corporativo e expectativas (Grubb et al., 2002).

Para Grubb (Grubb et al., 2002), mudanças tecnológicas autônomas, ou seja, independentes de condições de mercado ou expectativas, são principalmente impulsionadas pela oferta e sofrem forte declínio após a invenção inicial, na fase de aplicação da nova tecnologia, como resultado das falhas de mercados. Economicamente, mudanças autônomas abordam eficiência energética e custo como variáveis exógenas, o que é insatisfatório para projeção de emissões de GEE, atividade econômica e produção energética em função de tecnologia (Foxon, 2003).

Em modelagem realizada por Kemfert e Troung (2007), onde cenários com induções ou não de mudanças tecnológicas instigados por políticas de mitigação foram simulados, ambientes em que mudanças tecnológicas foram induzidas tendem a atingir metas de mitigação de gases estufa com menor custo de conformidade. Isso acontece pois uma maior parcela dos investimentos direcionados para pesquisa e desenvolvimento de novas tecnologias, assim como políticas de difusão e redução de barreiras faz com que o custo de inovação das mesmas seja reduzido. Já em cenários onde o incentivo de mudanças tecnológicas é exógeno e apenas motivado pelo impacto das mudanças climáticas, o custo econômico é maior, uma vez que os investimentos em pesquisa e desenvolvimento são menores pois agora dividem lugar com investimentos em adaptação para novas condições climáticas já danificadas. (Kemfert and Troung, 2007).

Para Foxon (2003), a importância da indução na mudança tecnológica se relaciona com a complexidade do processo de inovação e as barreiras para implementação de tecnologias limpas, já descrita na seção anterior. Segundo o autor, efeitos já comentados como ganhos de aprendizado, externalidades positivas da difusão de tecnologias limpas e ganhos de escala, são exemplos de como políticas de suporte são essenciais para redução do custo de novas tecnologias e logo vitais no processo para uma economia estruturada em produção de energia menos dependente na emissão de GEE.

5.2 Políticas de Suporte para Tecnologias Limpas

Nessa seção, será apresentada uma série de políticas de suporte para o sucesso de tecnologias limpas, ou menos dependentes da queima de combustíveis fósseis. Ao apresentar estas políticas e seus instrumentos, este trabalho tem o objetivo de demonstrar como é abordado na literatura atual o assunto e não apresentar soluções específicas para o problema.

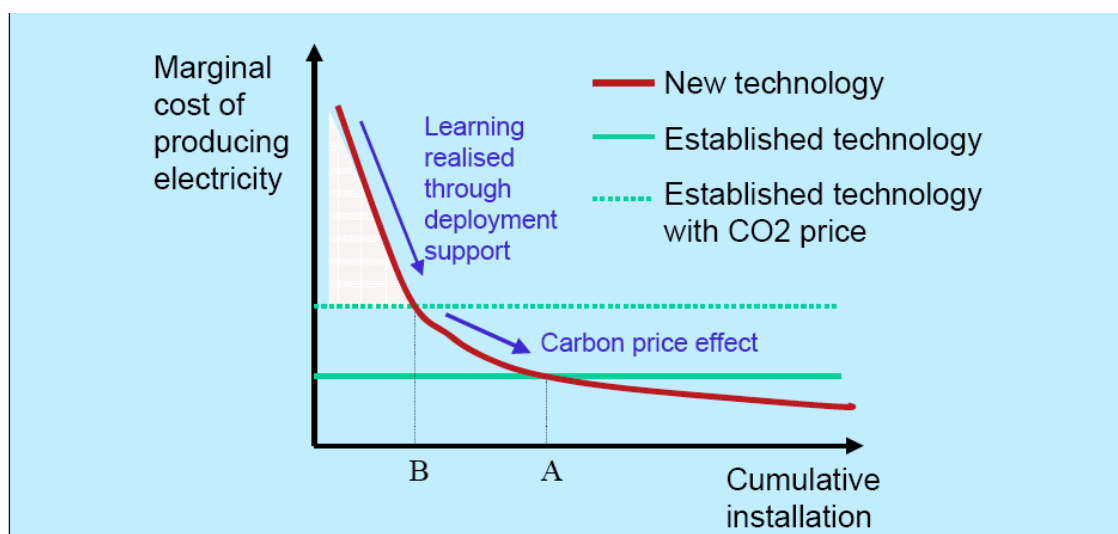
A transição para novas tecnologias deverá ser conduzida com uma estrutura clara de políticas de incentivos e sobreposição de barreiras. É apontado por Stern (2006) que o setor privado apenas se beneficia de 20-30% do total investido em P&D enquanto o ganho social é de 50% do investimento, logo é pouco provável que o setor privado tome qualquer decisão de investimento sem a existência de políticas de incentivo diretos ou indiretos.

Pesquisa e desenvolvimento continua sendo o grande motor da inovação tecnológica, e assim, é instrumento indispensável na transição para uma economia limpa. Antes mesmo, da criação de políticas contra falhas de mercado e difusão da nova tecnologia, empresas devem estar motivadas a investir em P&D. Uma correta precificação do carbono, na qual o custo gerado pela externalidade negativa que ele produz é computado, faria com que empresas se deparassem com seus reais custos de produção e seriam estimuladas a migrarem para novas tecnologias quando o custo social marginal do carbono fosse maior que o custo marginal de abatimento (Stern, 2006). Em condições perfeitas de mercado, sem falhas de mercado e informação perfeita, quotas de emissão e precificação do carbono surtiriam o mesmo efeito. Contudo, na existência de incertezas e mercados monopolizados, Weitzman (1994) sugere que a precificação do carbono é preferível quando os benefícios da reduzir a poluição são menos voláteis ao nível de poluição do que as variações de custo de efetuar a mesma, ou seja, a curva de custo marginal social do carbono é relativamente mais elástica do que a curva de custo marginal de abatimento.

Incertezas são sempre internalizadas na decisões de negócios das empresas e influenciam a rentabilidade de investimentos. Políticas de preço contudo, são criadas pelo governo. Por esse motivo, devem ser bem estruturadas e transparentes, passar confiança aos investidores de que tais medidas vão ser sustentadas por longos períodos de tempo no futuro, caso contrário tais políticas fracassarão e contribuirão para o aumento do custo de mitigação dos GEE (Stern, 2006).

Políticas de preço também tornam novas tecnologias mais competitivas na fase inicial de difusão. O gráfico a seguir mostra uma situação já descrita anteriormente das curvas de aprendizado mostradas no Gráfico 4. Contudo, dessa vez é introduzido uma política de preços do carbono.

Gráfico 5: Curvas de Experiência com políticas de preço do Carbono



Fonte: Gráfico retirado do relatório Stern Review (Stern, 2006) presente no capítulo 16 *Accelerating Technological Innovation*

Nessa Ocasião, o custo de aprendizado obtido com o aumento da difusão da mesma é menor. Sem a política de preço do carbono, o custo de aprendizado era referente à área abaixo da curva de experiência da nova tecnologia e acima da tecnologia estabelecida. Com o preço do carbono refletindo os estragos causados pela poluição, o custo marginal da nova tecnologia, no caso da produção energética, aumenta, reduzindo o custo de aprendizado para área destacada em branco.

Três elementos são apontados como essenciais por Stern (2006) para que políticas de preço do carbono tenham sucesso. Primeiramente, políticas de preço de carbono devem ter credibilidade. Pressão popular e medidas internacionais dão força para que o governo adote esse tipo de política sem que seja acusado por favorecer grupos de interesse. Medidas confiáveis favorecem investimentos de longo prazo, os quais correspondem a grande parte dos setores poluentes como matriz energética e indústrias. Se investidores acreditarem que o preço do carbono vai aumentar no futuro para acompanhar o aumento dos estragos causados com o aumento de emissão e consequentemente o aumento do estoque de GEE, terão maior credibilidade em investir em energias limpas que reduziram custos no futuro. A falta de credibilidade e existência de incertezas pode gerar o comportamento de “esperar para ver”, onde empresas esperariam até possuir mais informações para tomada de decisão. Isso faz com que o lucro esperado pelas empresas seja maior para cobrir dúvidas e riscos, tornando muitas atividades economicamente lucrativas não adotáveis. Em segundo lugar, políticas de preço devem ser flexíveis, ou seja, devem ter a possibilidade de alterações com a obtenção de novas

informações ou mudança nas circunstâncias. Políticas extremamente rígidas perdem em credibilidade uma vez que não se alteram com novas descobertas ou mudanças nas circunstâncias. O último elemento levantado por Stern é essencial para que flexibilidade não gere perda de confiança, a precificação do carbono deve ocorrer através de políticas transparentes e previsíveis. O preço do carbono deve ser previsivelmente alterado caso uma mudança ocorra no conhecimento geral, tornando possível que flexibilidade e credibilidade sejam possíveis na mesma medida.

O contexto abordado nesse trabalho demonstra uma visão mais complexa do processo tecnológico do que normalmente comentado, onde o processo de inovação tecnológica é impulsionado principalmente por investimento em P&D. Partes como estrutura institucional e relações de diferentes agentes no sistema inovador, mostraram-se de grande importância no processo de transição para novas tecnologias. Isso não contradiz que investimentos em pesquisa e desenvolvimento não sejam primordiais, apenas amplifica o campo de atuação de políticas de suporte.

De acordo com Foxon (2003), políticas públicas de suporte a inovação tecnológica se concentraram principalmente em corrigir duas falhas de mercado: aumentar a apropriação do setor privado sobre os benefícios gerados por investimentos em P&D, e o fato que, emissões dos gases causadores do efeito estufa são uma externalidade cujo custo não é internalizado por quem produz. Segundo o autor, a precificação certa do carbono através de taxas e comércio de emissões, é certamente uma medida eficaz que tem sido tomada para internalização dessa externalidade, aumentando os incentivos em novas tecnologias. Contudo, se isso será suficiente para vencer todas barreiras já descritas nesse trabalho, segundo Foxon, não pode ser tomado de forma clara. Confirmando o ponto de vista, Stern (2006) acredita que sem as políticas adequadas, o incentivo em novas tecnologias será volátil e gargalos apareceram durante o processo de inovação.

Assim, chega-se ao cenário onde políticas de suporte apropriadas devem integrar instrumentos que consigam atuar com sucesso em todo o processo de inovação tecnológica. Além de diminuir incertezas e precificar externalidades, políticas devem levar em consideração os diferentes tipos de aprendizado, interações entre partes diferentes do processo e a transposição de tecnologias e instituições em estado de *lock-in*. Como visto anteriormente, para a redução do custo e melhoria na qualidade de uma nova tecnologia, a mesma deve passar por um processo de adaptação de uso, assim o ganho de aprendizado tanto pelo *learning-by-doing* ou *learning-by-using* são essenciais, dessa forma políticas de suporte deveriam se focalizar em estimular o aprendizado através de apoio a projetos de demonstração

e nichos de mercado. O processo de indução tecnológica também exige políticas específicas para suceder, pela forte dependência do investimento corporativo e ganho de aprendizado, são necessárias criação de instituições e condições de mercado que incentivam a inovação tecnológica. Finalmente, para combater o *lock-in* da economia e instituições em tecnologias carbono-dependentes, políticas devem usar das mesmas armas dessas tecnologias estabelecidas para ganhos de escalas: deve-se investir em efeitos de aprendizado, expectativas adaptativas e efeitos de relações entre diversos setores para novas tecnologias (Foxon 2003).

Contudo, não existe uma política de suporte certa e específica para a solução do problema. Pelo contrário, uma vasta quantidade de instrumentos será necessária para diferentes aspectos do processo de transição tecnológica. Bibliografia de Gross e Foxon (2003) cita três diferentes tipos de instrumento.

Primeiramente, é de crucial importância o investimento em pesquisa e desenvolvimento básico para o desenvolvimento de idéias factíveis e soluções de problemas causados por tecnologias dependentes na queima de combustíveis fósseis. O investimento em P&D continua, mesmo com todas as barreiras e complexidade do processo de inovação apresentados, sendo o grande motor do desenvolvimento e aprimoramento tecnológico.

Em segundo lugar, políticas devem focar-se em criar mercados para inovações e processos. Segundo Geels (2002) inovações radicais são geradas em nichos de mercados. Esses nichos, por serem isolados do mercado geral, servem como um lugar onde a nova tecnologia pode passar pelo processo de incubação. Além de criarem espaço para ganhos de aprendizado, nichos de mercado também acabam criando uma rede de comunicação entre usuários-produtores de inovação, fornecedores e simpatizantes sobre o assunto. Dessa forma, o apoio aos nichos de mercado se mostra de grande importância para o início da disseminação de uma nova tecnologia. Políticas devem também garantir a determinados mercados a tecnologia ou o apoio financeiro para atingir uma tecnologia adequada a um objetivo específico para com o meio ambiente. Por último, na intenção de criação de mercados adequados para absorção dessas novas tecnologias, prazos e metas de longo prazo devem ser estabelecidos. A formalização de um cronograma de metas a serem atingidas ajuda o direcionamento de investimento privado e reduz incertezas sobre futuras medidas do governo.

E em terceiro lugar, políticas de incentivo financeiro são extremamente relevantes principalmente nas primeiras fases do desenvolvimento tecnológico. Essa ajuda financeira incentiva firmas a investir e desenvolver tecnologias limpas, além de aumentar efeitos de externalidades positivas com o aprendizado de uso. Incentivos financeiros podem ser feitos a partir de subsídios, créditos em impostos e taxas, hipoteca de retornos e através de novas

instituições financeiras. Subsídios agem de forma direta e reduzem o custo unitário da nova tecnologia através de apoio a projetos de demonstração e ganhos de aprendizado. De acordo com Stern (2006), subsídios são extremamente importantes no estágio de difusão da nova tecnologia, estágio em que o custo da mesma é mais elevado do que a tecnologia já estabelecida. Geralmente o preço mais elevado é repassado ao consumidor, subsídios do governo cobririam parte desse custo. Por outro lado, créditos em impostos e taxas possuem um sentido direto e indireto, ajudam diretamente na redução de custo mas também sinalizam indiretamente opções de investimentos mais lucrativas e menos custosas. Outro instrumento é a hipoteca de retornos provenientes da arrecadação de impostos que não só são direcionados para projetos de novas tecnologias mas também aumentam a aceitação da determinada taxa ao mostrar claramente seu destino. Por último, é proposta a criação de instituições financeiras especializadas em empréstimos para esta área. Essas instituições controlariam centralizariam gastos públicos direcionados para inovação tecnológica, além de conduzir com maior eficácia os gastos devida a alta especialidade no assunto.

Em um nível de análise mais específico, Stern (2006) propõe que para combater incertezas o melhor instrumento político é a criação de um portfólio de tecnologias. Tal política vai contra algumas medidas que visam a redução do custo de novas tecnologias no estágio inicial. A criação de um portfólio gera custos no curto prazo maiores uma vez que existe um maior número de custos de aprendizado. Contudo, no longo prazo, quando algumas tecnologias vão suceder e outras não, e assim, além de reduzir incertezas, tal portfólio não só geraria externalidades positivas de conhecimento para toda a sociedade como também combateria o *lock-in* de tecnologias estabelecidas com mais eficácia, uma vez que o prazo de difusão de novas tecnologias seria menor.

6 Conclusão

Este trabalho teve como objetivo abordar o aquecimento global com foco no investimento de novas tecnologias em prol de uma economia limpa. Através da descrição de estudos passados até a abordagem do assunto nos dias de hoje, foi possível observar a evolução do tema ao decorrer do tempo e como novas descobertas mudaram a forma com que

o Aquecimento Global ,e conseqüentemente a transição para tecnologias menos dependentes da queima de carbono , foi tratado e estudado.

Em 1993, Willian Nordhaus (1993) sugeriu que o aquecimento global fosse tratado como um problema de segunda prioridade, dando espaço para mais atenção em problemas como proliferação nuclear no Oriente Médio e uso excessivo de drogas no Ocidente, uma vez que era previsto apenas modesto aumento na temperatura de 1 a 3 graus Celsius. Hoje em dia, sabe-se que um aumento de tal magnitude pode causar danos irreversíveis no nosso planeta e mudar completamente o jeito no qual vivemos.

O nosso planeta já está fadado a mudanças climáticas, para evitar danos ainda maiores, ações de caráter global devem ser tomadas nos próximos 10 a 20 anos. Quanto antes começarmos a agir menor será o custo de abatimento futuro e menor será o custo de adaptação ao clima mais quente.

Novas tecnologias mais limpas, mais eficientes e que não dependem da queima de combustíveis fósseis, são essenciais para que emissões de gases causadores do efeito estufa sejam reduzidas sem que tenhamos que reduzir a produção, o que causaria impactos drásticos na economia mundial. Setor privado e setor Público devem trabalhar juntos para que a transição para novas tecnologias seja bem sucedida. O setor público deve ficar encarregado no investimento seja ele em pesquisa e desenvolvimento ou difusão da nova tecnologia, já o setor público deve criar um ambiente favorável a inovação, corrigindo falhas de mercado e criando uma rede de incentivos.

O problema do Aquecimento Global é por sua natureza, extremamente complexo. Riscos e Incertezas sobre o real impacto dificultam a compreensão do problema e atrasa medidas para sua solução. Este trabalho teve caráter descritivo geral do problema. Contudo, poucos estudos são dedicados a questões específicas como por exemplo quanto realmente deve ser investido em P&D e quais soluções reais para evitar barreiras de mercado. Devido a sua magnitude Global, estudos devem ser focados nas características locais de cada região, uma vez que soluções não necessariamente podem ser generalizadas para ambientes com diferentes características.

7 Bibliografía.

Agenda 21. UN Department of Economic and Social Affairs, Division of Sustainable Development.1992.

<http://www.un.org/esa/sustdev/documents/agenda21/english/agenda21toc.htm>

Arrow, K (1962a), 'Economic welfare and the allocation of resources for invention', in *The Rate and Direction of Inventive Activity* (ed. R. Nelson), pp. 609-625, Princeton University Press

Barber, J and White, G (1987), '*Current policy practice and problems from a UK perspective*', in Dasgupta and Stoneman (1987)

Barlow, J., Gardner, T.A., Araújo, I.S., Ávila-Pires, T.G., Bonaldo, Hernandez, M.I.M., Hoogmoed, M.S., Leite, R.N., Lo-Man-Hung, Miranda Santos, R., Nunes Gutjahr, A.L., Overall, W.L., Parry, L., Peters, S.L., Ribeiro-Junior, M.A., da Silva, M.N.F., da Silva Motta, C., Peres, C.A., 2007. *Quantifying the biodiversity value of tropical primary, secondary and plantation forests*, Proc. Natl. Acad. Sci. 20, páginas 18555 – 18560.

Brookes, L. 2000. *Energy efficiency fallacies revisited* (2000) . Energy Policy 28, páginas 355-366

Bush, V (1945), *Science: The Endless Frontier*, Office of Scientific Research and Development, Washington DC

Caetano, M.A.L., Gherardi, D.F.M., Yoneyama, T. 2008. *Optimal resource management control for CO2 emission and reduction of the greenhouse effect*. Ecological Modelling, páginas 119-126

Department of Trade and Industry (DTI) (2003), *Energy White Paper: Our Energy Future – Creating a Low Carbon Economy*, TSO (The Stationery Office), Londres

Foxon, T. J. (2003):. *'Inducing innovation for a low-carbon future: drivers, barriers and policies'*, London: The Carbon Trust,

<http://www.thecarbontrust.co.uk/Publications/publicationdetail.htm?productid=CT-2003-07>

Freeman, C (1987), *Technology and Economic Performance: Lessons from Japan*, Pinter Publishers, Londres

Geels, F (2002), *'Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes: a multi-level perspective and a case-study'*, *Research Policy* 31, 1257-1274

Gledistch, B.L.N.P. 2008. Palestra Ibmecc São Paulo 31 de Março de 2008

Gray, W.B., Schabegian, R.J., 1998. *Environmental Regulation, Investing Timing and Technological Choice*. *Resource and Energy Economics*, 46, páginas 235-256.

Griliches, Z (1957), *'Hybrid corn: An exploration in the economics of technological change'*, *Econometrica* 25, 501-522

Grubb, M, Kohler, J and Anderson, D (2002), *'Induced technical change in energy and environmental modelling: Analytic approaches and policy implications'*, *Annual Review of Energy and the Environment* 27, 271-308

Grubb M and Ulph D (2002), *'Energy, the environment, and innovation'*, *Oxford Review of*

Economic Policy, Vol. 18, No.1, pp. 92-106

IPCC (2007) *Synthesis Report* <http://www.ipcc.ch/ipccreports/ar4-syr.htm> p30-57.

Jaccard, M., Bataille, C. 2000. *Estimating future elasticities of substitution for the rebound debate*. *Energy Policy* 28, páginas 451- 455

Kahn, J.R., Franceschi, D., 2006. *Beyond Kyoto: a tax based system for the global reduction of greenhouse gas emissions*. *Ecol. Econ.* 58, páginas 778-787

Kemfert, C., Troung, T., 2007. *Impact assessment of emissions stabilization scenarios with or without induced technological change*. *Energy Policy* 35, páginas 5337-5345

Meinshausen, M., D. van Vuuren, T.M.L. Wigley, et al. (2006): '*Multi-gas emission pathways to meet climate targets*', *Climatic Change*, **75**: 151-194

Murphy, J.M., D.M.H. Sexton, D.N. Barnett, et al. (2004): '*Quantification of modelling uncertainties in a large ensemble of climate change simulations*', *Nature* **430**: 768 – 772

Nelson, R (1959), '*The simple economics of basic research*', *Journal of Political Economy* 67, 297-306

Nordhaus, Willian D., (1991) *To Slow or Not to Slow: The Economics of Greenhouse Effect*. *Economic Journal*, July 1991, 101, 920-37

Nordhaus, Willian D., (1993) *Reflections on the Economics of Climate Change*. *The Journal of Economic Perspectives*, Autumn 1993, pp. 11-25

Our common future . United Nations World Commission on Environment and Development.
1987 <http://www.un-documents.net/wced-ocf.htm>

Schmookler, J (1966), *Invention and Economic Growth*, Harvard University Press,
Cambridge MA

Schumpeter, J A (1911/1934), *The Theory of Economic Development*, Harvard University
Press, Cambridge MA

Schumpeter, J A (1939), *Business Cycles*, 2 Volumes, McGraw-Hill, Nova York

Solow, R (1957), 'Technical change and the aggregate production function', *Review of
Economics and Statistics* 39, 312-320

Sorrell S. *et al.*, (2000), *Barriers to energy efficiency in public and private organisations*,
SPRU, University of Sussex

Stern, L.N. Stern Review 2006.

http://www.hm-treasury.gov.uk/independent_reviews/stern_review_economics_climate_change/stern_review_report.cfm páginas 1-54, 211-238

Stiglitz, Joseph E (1986), *Economics of the public sector*, W. Norton, Nova York, EUA. P80,
p128-129, p215.

Stoneman, P (1987), *The Economic Analysis of Technology Policy*, Clarendon Press, Oxford

Unruh, G C (2000), 'Understanding carbon lock in', *Energy Policy* **28**, 817-830

Unruh, G C (2002), 'Escaping carbon lock in', *Energy Policy* **30**, 317-325

Weitzman, M.L (1974): '*Prices versus quantities*', Review of Economic Studies, **41** (4):477-491