



Texto de Discussão do Setor Elétrico n.º 46

**O Setor Elétrico Brasileiro e os
Compromissos de Reduções das Emissões
de Gases do Efeito Estufa**

Nivalde José de Castro
Roberto Brandão
Guilherme de A. Dantas

Rio de Janeiro
Março de 2012

Índice

Introdução	3
I. Energia e Mudanças Climáticas	6
II. Impactos Econômicos da Mitigação da Emissão de Gases do Efeito Estufa	10
III. O Brasil e a Economia de Baixo Carbono	13
III.1 O Potencial das Energias Renováveis no Brasil	15
III.2 Cálculo do Custo de Abatimento do CO ₂	18
Conclusão	22
Anexo I	24
Referências Bibliográficas	25

O Setor Elétrico Brasileiro e os Compromissos de Reduções das Emissões de Gases do Efeito Estufa

Nivalde José de Castro¹
Roberto Brandão²
Guilherme de A. Dantas³

Introdução

A produção e o consumo de energia são atividades que provocam impactos sobre o meio ambiente. Estes impactos intensificaram-se nos últimos 250 anos com o processo de industrialização e urbanização verificado em um conjunto crescente de países, porém com intensidades distintas. Dentre estes impactos, merece destaque as alterações climáticas, um fenômeno global que provoca consequências significativamente crescentes.

O controle e mitigação das alterações climáticas requerem necessariamente a redução das emissões de gases do efeito estufa. O princípio basilar nos debates sobre os impactos climáticos e a busca de soluções é de que as responsabilidades são comuns, porém diferenciadas.

¹ Professor da UFRJ e coordenador do GESEL – Grupo de Estudos do Setor Elétrico do Instituto de Economia da UFRJ. Email: nivalde@ufrj.br

² Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ. Email: robertobrandao@gmail.com

³ Doutorando do Programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ e Pesquisador-Sênior do GESEL/IE/UFRJ. Email: guilhermecrvg@ppe.ufrj.br

Desta forma, historicamente, as negociações entorno dos acordos climáticos tiveram como principal diretriz que os países desenvolvidos são os que precisam dar maior contribuição na redução de gases do efeito estufa. Isto porque foram estes países os maiores emissores desde o início da Revolução Industrial. Os países em vias de desenvolvimento, por sua vez, apresentam níveis de consumo de energia *per capita* em patamares nitidamente inferiores aos verificados nos países desenvolvidos. No entanto, este conjunto de países, na busca por melhores condições de vida, via desenvolvimento econômico e social, serão os maiores responsáveis pelo maior aumento da demanda por energia nos próximos anos e, conseqüentemente, responderão pela maior parte do crescimento das emissões de gases do efeito estufa, tornando-se também grandes emissores, caso sejam mantidos, *ceteris paribus*, os mesmos parâmetros de produção e consumo de energia. Por esta razão, no âmbito das negociações internacionais do acordo climático, a última Conferência das Partes realizada em Durban apresentou como resolução mais relevante um acordo climático que irá suceder o Protocolo de Quioto e contemplará metas de redução compulsórias para todos os países, inclusive os emergentes como China, Índia e Brasil.

Como o impacto econômico deste novo acordo será uma função direta do custo do abatimento das emissões, torna-se necessário o prévio conhecimento do inventário de emissões para que seja possível mensurar a magnitude destes custos.

Nestes termos, em relação ao Brasil, o perfil das emissões é muito distinto do padrão mundial, na medida em que estão essencialmente associadas aos desmatamentos. Por outro lado, a intensidade em carbono da matriz energética é bastante reduzida devido à expressiva participação de fontes renováveis em sua composição, sobretudo no setor elétrico, onde cerca de 90 % da geração é de origem hidroelétrica.

As perspectivas de expansão da capacidade instalada do setor elétrico brasileiro, determinadas pela política e planejamento elétrico com base nas potencialidades naturais brasileiras, priorizam as fontes renováveis de base hídrica, eólica, biomassa. Como resultante da atual matriz elétrica e de sua evolução o custo do abatimento da emissão de carbono tende a ser bastante reduzido. Neste sentido, a formulação de acordos climáticos mais abrangentes, incluindo o custo do abatimento das emissões, deve ser vista por empresas brasileiras como uma oportunidade de ganho de competitividade internacional, devido às características e potenciais naturais do Brasil.

Embora a partir da Plataforma de Durban não seja possível auferir a magnitude e o cronograma do compromisso climático que será assumido pelos países desenvolvidos e emergentes, é possível afirmar que no médio e longo prazo haverá um custo de emissão de gases do efeito estufa em escala mundial. O objetivo central deste artigo é demonstrar que as potencialidades brasileiras permitem que a promoção da economia de baixo carbono seja uma oportunidade de ganho de competitividade das empresas brasileiras quando os acordos internacionais de redução das emissões entrarem de fato em vigor.

O artigo está estruturado em três seções, além da presente introdução. A primeira seção é dedicada ao exame da problemática ambiental e da necessidade de equacionamento das alterações climáticas. A segunda seção analisa os impactos econômicos da redução das emissões. A terceira e última seção apresenta as principais características e peculiaridades do caso brasileiro. Por fim são apresentadas as conclusões que convergem para o fato de que acordos climáticos tendem a ser uma efetiva oportunidade de ganho de competitividade para a economia brasileira.

I – Energia e Mudanças Climáticas

Os impactos da produção e do consumo de energia se intensificaram nos últimos 250 anos como consequência do processo de industrialização e urbanização que permitiu o desenvolvimento socioeconômico e a melhoria da qualidade de vida, especialmente nos países hoje considerados desenvolvidos.

De acordo com Goldemberg e Lucon (2007), a biosfera⁴ está sujeita a um processo contínuo de transformações devido a causas naturais sobre as quais o homem não possui controle.⁵ Porém, as mudanças naturais de grande magnitude ocorrem de forma bastante lenta, o que permite que a vida sobre a Terra se adapte continuamente. Em contrapartida, a partir da Revolução Industrial, iniciada em meados do Século XVIII na Inglaterra, começaram a ocorrer significativas mudanças no meio ambiente como consequência da ação antrópica, tanto como efeito do aumento populacional como, e principalmente, devido ao desenvolvimento socioeconômico com a consequente aceleração exponencial do ritmo de extração dos recursos naturais e do contínuo e crescente despejo de resíduos sobre o meio ambiente.

Dentre os impactos ambientais mais significativos, se destacam as alterações climáticas, devido ao seu impacto global e aos seus efeitos sobre o equilíbrio da biosfera. A intensificação do aquecimento global advém do processo de desenvolvimento socioeconômico, que se baseia em uma matriz energética

⁴ A biosfera é o conjunto que compreende todos os ecossistemas terrestres. Os impactos ambientais oriundos da ação antrópica podem ocasionar relevantes desequilíbrios sobre os ecossistemas. Dentre estes impactos, as alterações climáticas são as mais relevantes devido à sua amplitude global que ameaça a biodiversidade, a própria exploração dos recursos naturais e, por conseguinte, o desenvolvimento humano na Terra, gerando no limite dúvidas relativas à sobrevivência da humanidade.

⁵ As estações do ano, terremotos, erupções vulcânicas, furacões, queimadas em florestas são alguns exemplos de fenômenos naturais sobre os quais o homem não tem como intervir.

caracterizada pela predominância da combustão de insumos fósseis. Desta forma, o processo de combustão tornou-se uma das principais causas que determinam o desequilíbrio do ciclo do carbono e o aumento da concentração de compostos orgânicos na atmosfera.⁶

De acordo com Castro e Dantas (2010), devido à necessidade de se restringir o aquecimento global, foi criado no início da década de 1990 um arcabouço institucional para estabelecer metas e criar mecanismos que permitam a redução das emissões de gases do efeito estufa.⁷ Os autores enfatizam que a consolidação e o avanço da certeza científica relativa à influência antrópica sobre o aquecimento global, bem como as consequências danosas sobre o meio ambiente resultam na necessidade de adoção de metas consistentes para redução das emissões de gases do efeito estufa.⁸

A redução das emissões de gases do efeito estufa está diretamente associada a uma revisão do paradigma energético, pois aproximadamente 70% das emissões antrópicas de gases do efeito estufa são oriundas do setor energético (SOUZA e AZEVEDO, 2006). Em termos mundiais, o setor elétrico responde por 38% do consumo primário de energia (IEA, 2011). Esta demanda é atendida predominantemente a partir de insumos fósseis que respondem por aproximadamente 70% da matriz elétrica mundial (IEA, 2010a).

⁶ Conforme IPCC (2007), a concentração de CO₂ aumentou de um patamar de 280 ppm no período Pré-Industrial para atingir a cifra de 379 ppm em 2005. Concomitantemente, a concentração de metano teria se elevado de 715 ppb para 1774 ppb no mesmo período.

⁷ O primeiro compromisso de redução de gases do efeito estufa no âmbito da Conferência das Partes foi o Protocolo de Quioto em 1997 que estabeleceu uma meta de redução de 5,2% para os países do Anexo B no período compreendido entre 2008 e 2012.

⁸ Com o intuito de limitar o aquecimento global em 2° C até o fim deste século, e desta forma minimizar os impactos negativos das alterações climáticas, é necessário que se estabilize a concentração de gases do efeito estufa em 450 ppm. Para atingir estes níveis, será preciso uma drástica redução das emissões de gases do efeito estufa. Porém, o prazo, a magnitude destas metas e quais serão os países com maiores metas são objetos de muita controversa, conforme verificado na COP-15.

Conforme assinalado, o aumento da concentração de compostos orgânicos na atmosfera foi resultado essencialmente do processo de desenvolvimento dos países que hoje são ditos desenvolvidos e possuem níveis de consumo de energia *per capita* bastante superiores aos níveis verificados nos países em vias de desenvolvimento.⁹ Por isso, as negociações climáticas sempre estiveram pautadas no princípio das responsabilidades comuns (todos os países são responsáveis por contribuir para reduzir o impacto das emissões de gases de efeito estufa para a biosfera), porém com responsabilidades diferenciadas, cabendo aos países desenvolvidos um maior nível de comprometimento no combate ao aquecimento global.

Os países não pertencentes a OECD serão responsáveis por mais de 70% do crescimento econômico mundial nos próximos 25 anos e por 90 % do crescimento da população mundial. Como consequência, estima-se que cerca de 90% do crescimento da demanda por energia até 2035 estará concentrada nestes países (IEA, 2011). Cabe destacar que estes países emergentes, em 2009, já respondiam por 54% da demanda mundial por recursos primários de energia. Como resultado, o crescimento previsto das emissões de gases do efeito estufa estará mais concentrado neste conjunto de países. Em suma, apesar destes países se manterem com níveis de consumo de energia *per capita* significativamente inferiores aos patamares dos países desenvolvidos, eles serão os grandes demandantes de energia e consequentemente os principais emissores marginais de gases do efeito estufa nos próximos anos, em função do esforço, legítimo, de desenvolvimento econômico e social.

⁹ De acordo com IEA (2010a), em 2008 o consumo *per capita* de energia nos países da OECD foi de 8.486 kwh em contraste com os valores de 1.956 e 571 registrados respectivamente na América Latina e na África.

Neste sentido, em função desta assimetria econômica e ambiental, observava-se uma grande dificuldade no estabelecimento de um acordo climático que sucedesse o Protocolo de Quioto devido à resistência de países desenvolvidos, sobretudo dos EUA, em assumirem compromissos de redução de emissões gases do efeito estufa que não contemplassem países como China e Índia. Esta resistência tende a se torna mais intensa com a situação de crise econômica internacional localizada nos países desenvolvidos.

A Conferência das Nações Unidas para Mudanças Climáticas de 2011 em Durban conseguiu promulgar a chamada Plataforma de Durban, pela qual deve se iniciar de forma imediata a negociação de um novo acordo climático global que contemple todos os emissores sob o mesmo marco legal. Este acordo deverá estar pronto até 2015 para que possa ser implementado até 2020. Este foi o principal saldo positivo obtido pela Conferência de Durban: eliminou a segmentação entre países ricos e pobres nas negociações climáticas.

Vale destacar que os resultados obtidos pela Conferência de Durban foram influenciados pela crise econômica mundial, como se pode constatar pelo fato do novo acordo climático ter seu início protelado para 2020 e de que a segunda fase do Protocolo de Quioto ficar basicamente restrita à União Europeia. Esta demora na implementação do novo e mais abrangente acordo climático irá aumentar ainda mais o custo da mitigação¹⁰ das alterações climáticas por duas razões:

- i. Torna-se mais difícil e, conseqüentemente, custosa a estabilização dos gases do efeito estufa em 450 ppm;

¹⁰ Estudos da Agência Internacional de Energia estimam um custo da ordem US\$ 1 trilhão para cada ano de postergação no início da vigência de um novo acordo climático.

- ii. Os investimentos no setor energético caracterizam-se por longos prazos de maturação. O atraso para o novo acordo climático significa a imobilização de capital em tecnologias intensivas em carbono que poderão ter que ser substituídas antes do fim de suas vidas úteis, quando da entrada em vigor de um novo acordo climático.

II – Impactos Econômicos da Mitigação da Emissão de Gases do Efeito Estufa

A maior dificuldade em adotar os compromissos de redução das emissões de gases do efeito estufa são os impactos que os instrumentos usados para esta mitigação terão sobre a economia, problema que se amplia dada a situação de crise econômica em vários países do mundo. Neste sentido, o correto dimensionamento dos custos de mitigação é condição basilar para que a mesma ocorra da forma menos custosa possível e para melhor compreensão da geopolítica relativa às negociações climáticas.

Segundo Dantas (2008), políticas de eficiência energética e uma maior participação de fontes renováveis de energia são os meios mais concretos e disponíveis para reduzir as emissões de gases do efeito estufa do setor energético. Neste sentido, no âmbito do setor elétrico, justificam-se os expressivos investimentos em fontes renováveis e alternativas de geração elétrica que vem se verificando em vários países, sobretudo em energia eólica. A energia eólica vem ganhando espaço na matriz elétrica mundial. Em 1996, o mundo detinha capacidade de apenas 6,1 GW. Em 2010 já atingia uma capacidade instalada de 194,4 GW (GWEC, 2011). Em menor escala, também merece destaque a expansão da geração fotovoltaica que no

ano 2000 tinha uma capacidade instalada de 1,46 GW e ao fim de 2010 possuía uma capacidade instalada mundial de 39,53 GW (EPIA,2011).

O crescimento das fontes renováveis vem se realizando na maioria dos países com base em políticas de incentivos por meio da criação de nichos de mercado específicos para estas fontes, como é o caso de leilões específicos, e por políticas de incentivos tarifários como o instrumento das *feed-in tariffs*. Concomitantemente, com vistas à redução de custos finais da energia elétrica de fontes renováveis, em muitos países vêm sendo adotadas políticas pelo lado da oferta como incentivos fiscais, desoneração tributária e até mesmo proteção à cadeia produtiva nacional, como é o caso chinês (CASTRO *et al.*, 2010a).

A denominação “alternativa” para fontes renováveis, e sobretudo a necessidade de políticas de incentivos, por si só já indicam o maior custo destas fontes em comparação com a geração convencional. Desta forma, resulta como consequência direta o custo do abatimento das emissões de carbono do setor elétrico de países desenvolvidos, que pode ser bastante elevado. Segundo IEA (2010b), a energia eólica *onshore* é viável economicamente com uma tarifa de US\$ 85,00 MWh, enquanto que a tarifa de equilíbrio da geração *offshore* é de US\$ 101,00 por MWh. Por sua vez, o custo da geração fotovoltaica se situa entre US\$ 280,00 e US\$ 400,00 por MWh, dependendo da escala da planta.¹¹

A título de comparação, conforme assinalado por Hoffmann (2010), a tarifa de equilíbrio de uma planta de geração Ciclo Rankine movido a carvão é de

¹¹ Cabe destacar que a crise econômica mundial iniciada em 2008 resultou na redução do custo de investimento em usinas eólicas e solares devido à redução da demanda, especialmente em países que cessaram políticas de incentivos a fontes renováveis como Portugal e Espanha. Este excesso de oferta de capacidade de produção de equipamentos é um dos elementos que explica, por exemplo, a recente redução dos custos da energia eólica no Brasil.

aproximadamente US\$ 70,00 por MWh. Cabe destacar que uma alternativa aos investimentos em fontes renováveis de energia elétrica é a utilização do carvão como insumo, em plantas com captura e sequestro de carbono (CCS). Desta forma, seria possível continuar utilizando as abundantes reservas de carvão existentes, notadamente nos EUA e China, mas de forma sustentável, pois não ocorreria a emissão de CO₂. Este mesmo estudo indica um custo de US\$ 110 por MWh para uma planta *Integrated Generation Cycle Combined* (IGCC)¹² com captura de carbono.

A análise do impacto econômico da adoção de medidas mitigadoras da emissão de gases do efeito estufa é realizada por meio da comparação com um cenário de referência. Este cenário é definido como aquele onde a alternativa a ser adotada tem como base parâmetros estritamente econômicos. Desta forma, é possível chegar a resultados onde o custo do abatimento:

- (i) é negativo;
- (ii) tem impacto neutro;¹³ e,
- (iii) no mais comum dos casos, este custo é considerável.

Os dados de custo apresentados nesta seção indicam que a nível mundial o custo de abatimento do carbono no setor elétrico é considerável. Este custo é mais visível na União Europeia, que já possui um custo de emissão explícito.

No entanto, à medida que seja assumido um amplo e consistente compromisso a nível mundial, este custo de abatimento tenderá ser usado em outras regiões e

¹² O IGCC é a tecnologia mais adequada para a realização do CCS, pois permite a remoção do CO₂ antes da combustão, o que é mais simples que a captura no exaustor. Além disso, por utilizar carvão gaseificado em uma planta ciclo combinado, esta rota apresenta maiores níveis de eficiência do que a queima direta do carvão.

¹³ Comum em casos de adoção de medidas de eficiência energética.

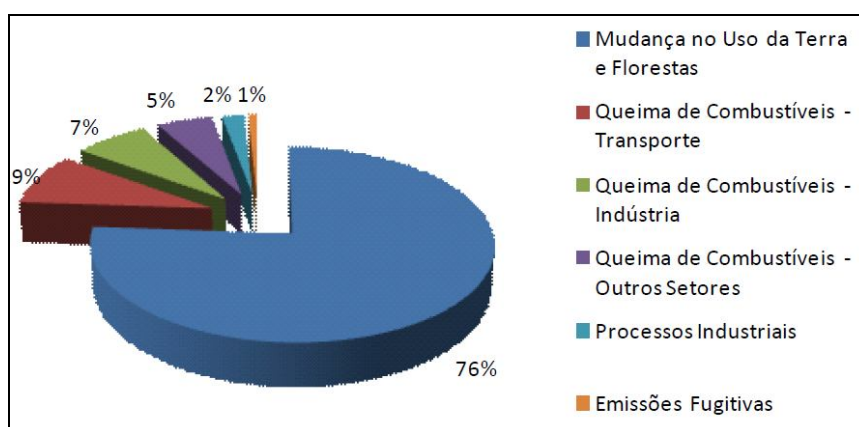
países. Como energia elétrica é um bem essencial no mundo contemporâneo e é um item relevante na estrutura de custos de muitas empresas, a aplicação do instrumento do custo do abatimento das emissões de CO₂ irá ter um razoável impacto econômico. Por exemplo, segundo estimativa da IEA (2011), o custo do carbono para o setor elétrico da União Europeia seria da ordem de US\$ 30,00¹⁴ em 2020. É por conta deste custo que há uma forte relutância e mesmo rejeição, como é o caso dos EUA e da China, em assumir compromissos de redução.

III – O Brasil e a Economia de Baixo Carbono

O Brasil está posicionado entre os maiores emissores mundiais de gases do efeito estufa com uma emissão anual superior 2 bilhões de toneladas de CO_{2eq}. No entanto, conforme assinalado por Souza e Azevedo (2006), o padrão das emissões brasileiras é nitidamente distinto do padrão mundial já que a maior parte das emissões é oriunda do desmatamento, como pode ser verificado no Gráfico 1.

Gráfico 1

Composição das Emissões Brasileiras de CO₂ em 2005



Fonte: MCT (2009).

¹⁴ Dólares de 2010.

A seção 1 deste artigo mostrou que países como o Brasil terão que assumir compromissos no futuro de redução das emissões. Porém, em contraste com o resto do mundo, as reduções brasileiras estarão essencialmente relacionadas com a mudança nos hábitos de cultivo e de uso das terras. Um diferencial importante derivado desta característica é que o combate ao desmatamento é de caráter normativo e de fiscalização, não dependendo da introdução de alternativas tecnológicas que introduziriam variáveis de custos que poderiam comprometer a competitividade do setor de agronegócios.

Como mencionado anteriormente, a inserção de fontes renováveis de energia na matriz elétrica é uma condição necessária para a promoção de uma oferta de energia com menor intensidade em carbono. Entretanto, os custos destes projetos variam de acordo com as especificidades de cada país e são justamente estes custos que irão determinar o custo do abatimento das emissões de CO₂. O setor elétrico brasileiro parte de uma situação impar em relação ao mundo, dada à elevada participação das fontes renováveis na geração de energia elétrica. Além disto, possui um grande potencial de hidroeletricidade, energia eólica, biomassa, condição que permite manter durante muitos anos uma matriz sustentável. Estes dois condicionantes - do presente e futuro - garantem perspectivas relevantes e promissoras em termos de competitividade e manutenção de uma configuração da matriz renovável com baixa intensidade em carbono.

Desta forma, o Brasil apresenta características naturais e institucionais que permitem fazer a inserção destas fontes renováveis com um custo reduzido em termos internacionais. Por consequência, o Brasil apresenta um menor custo de abatimento das emissões de gases do efeito estufa, de tal forma que a promoção da Economia de Baixo Carbono poderá se constituir em mais uma vantagem competitiva para a economia brasileira.

Como o enfoque analítico deste artigo é a decisão de um agente específico e não o planejamento do setor elétrico brasileiro, o parâmetro a partir do qual se deve mensurar o custo do abatimento do carbono não será o custo marginal de expansão do sistema elétrico brasileiro e sim o de uma termoelétrica ciclo combinado movida a gás natural. Esta é uma opção conservadora porque dentre as opções térmicas, é aquela que apresenta o binômio custo - emissões de gases do efeito estufa mais favorável. Portanto, a linha de base considerada neste trabalho, com vistas a estimar o custo de abatimento das emissões de CO₂ por meio de investimentos em fontes renováveis de energia elétrica, será uma usina com custo de investimento de US\$ 1.200,00 por kW instalado e com preço de equilíbrio de US\$ 70,00¹⁵ por MWh que emite 400 gramas de CO₂ por kWh gerado.

III.1 – O Potencial das Energias Renováveis no Brasil

A oferta brasileira de energia elétrica é essencialmente hídrica. E como o Brasil dispõe ainda de 160 GW de potencial a serem explorados, entende-se por que a política e o planejamento elétrico brasileiro priorizam a hidroeletricidade como a principal fonte renovável para a expansão da matriz brasileira.

O custo de uma usina hidroelétrica é bastante sensível à sua escala produtiva. Estima-se que o custo de uma hidroelétrica de grande porte, com capacidade instalada superior a 1 GW seria de US\$ 1.500,00 por kW instalado. É justamente este perfil de empreendimento que vem comercializando energia nos leilões

¹⁵ Valor estimado a partir de pesquisas do GESEL/IE/UFRJ e consultas aos agentes do setor. Cabe destacar que no Leilão A-5 de 2011 foram contratados empreendimentos térmicos movidos a gás natural a um preço médio de US\$ 60,00. No entanto, os empreendedores vencedores dos leilões são proprietários de poços de gás natural e este resultado só foi possível devido à possibilidade de integração da cadeia produtiva.

estruturantes a preços bastante competitivos, da ordem de US\$ 47,00 por MWh.¹⁶ No entanto, este custo se refere à energia destinada ao mercado regulado e não serve de parâmetro para um consumidor livre que queira adquirir a energia de um projeto deste tipo. Desta forma, será adotado o suposto conservador que esta energia teria um custo de US\$ 70,00 por MWh para um consumidor livre.

Por sua vez, uma usina hidroelétrica de porte médio possui um custo unitário de investimento da ordem de US\$ 2.000,00 por kW instalado e isto resulta em um preço de equilíbrio em torno de US\$ 72,00 por MWh. No caso de pequenas centrais hidroelétricas (PCH), o custo do investimento é de aproximadamente US\$ 3.000,00 por kW instalado, com um preço de equilíbrio de aproximadamente US\$ 83,00.

Cabe destacar que pequenas centrais hidroelétricas, assim como fontes renováveis como usinas eólicas e de biomassa,¹⁷ possuem desconto de 50% no uso da rede de transmissão, o que garante uma relativa competitividade frente a hidroelétricas de maior porte na ótica de um consumidor livre.

No que se refere à energia eólica, o potencial de geração brasileiro auferido a 100 metros de altura é estimado extraoficialmente em torno dos 300 GW. A este potencial deve-se somar o fato que a intensidade e regularidade dos ventos brasileiros permitem que se obtenham fatores de capacidade superiores aos padrões internacionais, onde os melhores sítios em terra, como na Galícia, apresentam fatores de capacidade máxima na faixa dos 35%.

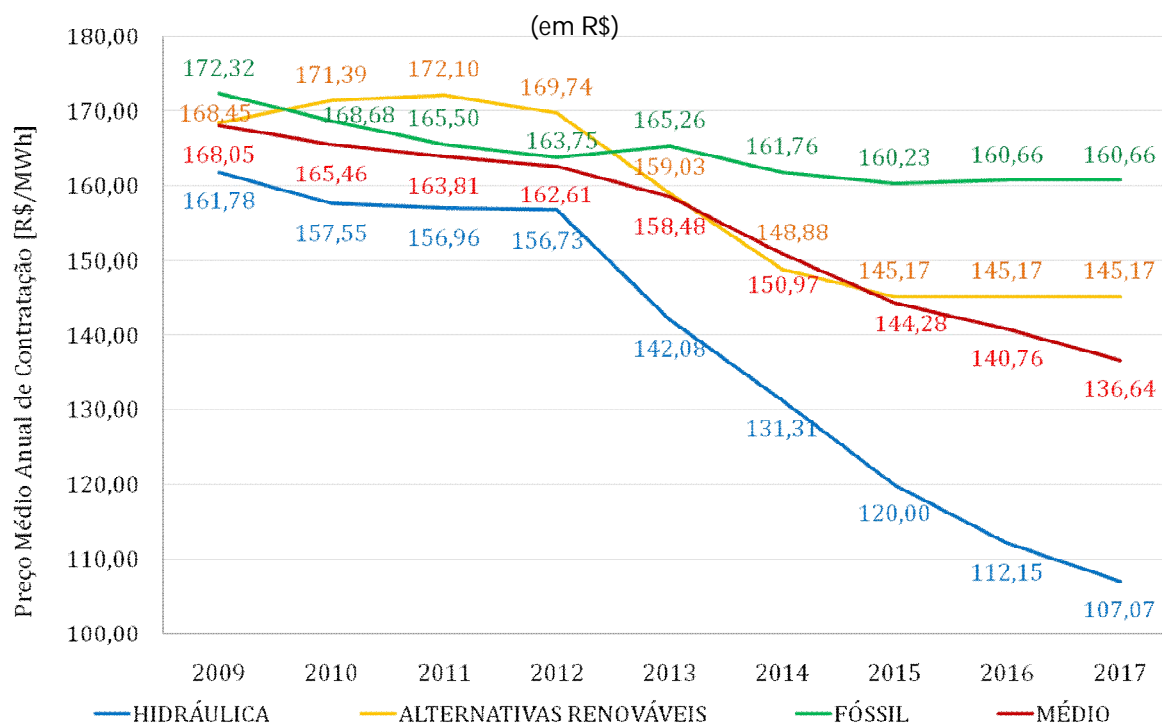
¹⁶ Este valor é o preço a custo de fatores, ou seja, é o preço de venda à rede básica, não devendo ser confundido com a tarifa final, sobre a qual incidem uma série de outras rubricas, notadamente, impostos e encargos setoriais.

¹⁷ Por definição, pequenas centrais hidroelétricas possuem uma capacidade menor ou igual a 30 MW. Por sua vez, o desconto na tarifa do uso de sistema de transmissão e de distribuição para as demais fontes renováveis é limitado a empreendimentos com capacidade de até 30 MW.

O desenvolvimento da indústria de turbinas eólicas associado a uma política consistente de desoneração tributária dos equipamentos possibilitou uma redução do custo de investimentos em usinas eólicas de US\$ 3.000,00 para US\$ 2.000,00 por kW instalado em anos recentes. Além disso, as condições de financiamento e incentivos fiscais foram fatores adicionais que contribuíram para a expressiva contratação de energia eólica nos leilões dos últimos anos, permitindo que em 2010 a contratação nos leilões de reserva e de fonte alternativa de 899 MWmed ao preço médio de US\$ 77,00 por MWh. Por sua vez, os leilões de reserva, A-3 e A-5 de 2011 contrataram 1.391,5 MWmed a um preço médio da ordem de US\$60,00 por MWh.¹⁸ O Gráfico 2 ilustra a evolução destes indicadores.

Gráfico 2

Evolução do Preço da Energia Elétrica no Brasil: 2009-2017



Fonte: EPE

¹⁸ O Leilão de Reserva contratou MWmed a um preço médio de R\$ por MWh enquanto que o Leilão A-3 contratou 484,2 MWmed a um preço médio de R\$ 99,58 por MWh. Por sua vez, o Leilão A-5 contratou MWmed a um preço médio de R\$ por MWh.

Além da energia eólica, é preciso reter especial atenção às potencialidades de geração de energia elétrica a partir da biomassa residual do processo produtivo de etanol e açúcar. O ciclo expansivo do setor sucroenergético disponibiliza uma oferta crescente de bagaço, utilizado como insumo para a geração de eletricidade. Deve-se também considerar a oferta crescente de palha devido ao fim da prática das queimadas com a implementação da colheita mecanizada da cana de açúcar. De acordo com Sousa (2009), na safra 2020/21, quando se projeta uma safra superior a 1 bilhão de toneladas de cana, o potencial de geração de eletricidade seria da ordem de 20.000 MW.¹⁹

O custo do investimento em uma planta de cogeração de bioeletricidade que gere excedentes de energia elétrica a serem exportados é bastante sensível em relação à escala. Castro *et al.* (2010b) enunciam que o custo de uma planta associada a uma usina que processe 1 milhão de toneladas de cana por safra tem um custo unitário de investimento 30% superior ao custo verificado em uma usina que processe 3 milhões de toneladas de cana. Desta forma, assume-se um custo médio do investimento de US\$ 1.400,00²⁰ por kW instalado, que resulta em uma preço de equilíbrio de aproximadamente US\$ 76,00 por MWh produzido.

III.2 – Cálculo do Custo de Abatimento do CO₂

A metodologia de cálculo do custo de abatimento de gases do efeito estufa²¹ tem como maior dificuldade determinar, de forma, precisa os parâmetros a serem utilizados. Com vistas a não subestimar o custo de abatimento, se optou sempre pelos parâmetros mais conservadores. Neste sentido, em vez de admitir os fatores

¹⁹ Com base uma planta de cogeração ciclo Rankine com turbinas de extração-condensação, caldeiras de 67 bar e utilização de 50% da palha.

²⁰ Em contraste com os custos de investimento apresentado para as demais fontes, este valor não contempla o custo de conexão.

²¹ Ver Anexo 1.

de emissões de CO₂ das fontes renováveis de energia como sendo zero, se considerou as emissões ao longo de todo o ciclo de vida destas fontes, conforme os dados apresentados na Tabela 1.

Tabela 1
Fatores de Emissões de CO₂
(em gramas de CO₂ por kWh)

Fontes	Fator de Emissão (em gramas de CO ₂ por kWh)
Hidroeletricidade	20
Eólica	30
Bioeletricidade	30

Fonte: Elaborado por GESEL/IE/UFRJ a partir de dados da União Européia.

Com base nos fatores de emissões e custos das fontes renováveis de energia e da planta de gás natural utilizada como parâmetro do cenário de base, foram calculados os custos de abatimento de CO₂. Este cálculo é resultado da diferença entre o custo da fonte com baixa intensidade em carbono e a geração de gás natural ponderado pelas emissões evitadas. A Tabela 3 apresenta os custos para as diferentes fontes.

Tabela 2
Custo de Abatimento de CO₂
 (US\$ por tonelada de CO₂)

Fontes	Custo de Abatimento (US\$ por tonelada de CO ₂)
Hidroeletricidade – projetos estruturantes	0
Hidroeletricidade – porte médio	5
Pequenas Centrais Hidroelétricas	34
Eólica	-27
Bioeletricidade	17

Fonte: Elaborado por GESEL/IE/UFRJ.

De acordo com a Tabela 2, exceto em relação às pequenas centrais hidroelétricas, as demais fontes renováveis possuem custos de abatimento bastante competitivos, sendo a energia eólica o caso limite em que o custo é negativo.²² Os leilões de contratação de energia elétrica do setor elétrico brasileiro são ilustrativos desta competitividade: a busca pela modicidade tarifária é o objetivo basilar do marco

²² Tal caso costuma estar associado a políticas de eficiência energética, sendo raro para fontes renováveis de energia.

regulatório do sistema elétrico brasileiro. Com vistas a se atingir este objetivo, os leilões para contratação de energia nova para o atendimento da demanda futura do mercado cativo são reversos, sendo contratados os empreendimentos que ofertem energia ao menor custo por MWh gerado. A observação dos resultados dos leilões em termos da energia contratada nos últimos três anos indica uma participação expressiva de empreendimentos de fontes renováveis de energia, especialmente projetos eólicos, corroborando a competitividade que estas fontes possuem hoje no Brasil.²³ Estes condicionantes justificam a previsão do último plano decenal de expansão de energia brasileiro elaborado pela EPE de que a expansão da oferta se dará essencialmente por meio de fontes renováveis de energia elétrica.

Portanto, ao se comparar com as perspectivas do preço do carbono a nível mundial, constata-se o quanto o menor custo de abatimento do CO₂ pode vir a se constituir em uma vantagem competitiva para as empresas brasileiras com processos produtivos intensivos no consumo de energia. Para se ter uma noção da dimensão desta vantagem, EcoSecurities (2009) estima em US\$ 30,00 o preço da tonelada do carbono em 2020, comprovando a oportunidade que as empresas brasileiras possuem de fazer a promoção da Economia de Baixo Carbono como um diferencial de competitividade.

Contudo, cabe destacar que para que este patamar de preço de carbono se verifique de fato será preciso um acordo climático a nível mundial esteja em vigor. A realidade atual é que a mitigação dos gases do efeito estufa está hoje basicamente restrita à Europa. Neste sentido, a estratégia das empresas e da própria política e planejamento energético brasileiro para a Economia Verde devem ter um horizonte de ação de médio prazo, subordinado aos avanços inevitáveis dos acordos internacionais de alterações climáticas.

²³ Dentre as fontes renováveis, verifica-se que as pequenas centrais hidroelétricas não vêm conseguindo comercializar energia nos leilões e os montantes de bioeletricidade contratados vêm sendo muito pequenos. Estes resultados são compatíveis com os maiores custos destas fontes apresentados neste artigo.

Conclusão

A mitigação das alterações climáticas é um dos maiores desafios da sociedade contemporânea. Na condição de principal emissor de gases do efeito estufa, o setor energético precisa rever seus paradigmas em linha com a necessidade de se limitar o aquecimento global.

Os países desenvolvidos foram os principais responsáveis pelas emissões de gases do efeito estufa nos últimos 250 anos. Neste sentido, as negociações de acordos climáticos sempre tiveram como base o princípio das responsabilidades comuns, porém diferenciadas, com os países desenvolvidos devendo realizar os maiores esforços de redução das emissões de gases do efeito estufa.

No entanto, como os países em vias de desenvolvimento serão os principais responsáveis pelo aumento da demanda por energia e conseqüentemente pelo crescimento das emissões, nos últimos anos passou a existir uma grande pressão para que países como China, Índia e Brasil assumissem compromissos formais de redução das emissões de gases do efeito estufa. A Conferência de Durban pode ser considerada um marco nas negociações climáticas por estabelecer, minimamente, as bases para o acordo climático que deverá suceder o Protocolo de Quioto contemplando todos os países.

No caso do Brasil, as emissões estão associadas essencialmente ao desmatamento. Logo, a mitigação das emissões deve ser realizada por meio de normas rígidas e fiscalização. Concomitantemente, o Brasil possui amplo e diversificado potencial de fontes renováveis para geração de eletricidade, o que permitirá manter uma matriz predominantemente renovável em bases muito competitivas, em especial em comparação com a média mundial. Observa-se assim que, sob a ótica do setor elétrico e das indústrias intensivas em energia elétrica, o avanço das negociações

em prol de um acordo climático global deve ser visto como uma oportunidade de ganho de competitividade da economia brasileira. Esta assertiva tem como base o elevado custo que os setores elétricos de outros países irão incorrer para abater suas emissões de gases do efeito estufa.

Os dados apresentados na tabela 2 demonstram que o custo do abatimento de gases do efeito estufa por meio de projetos em fontes renováveis de geração de energia elétrica no Brasil é reduzido. Este status só é possível devido às condições naturais do Brasil e às características institucionais e operacionais do setor elétrico brasileiro. Nestes termos, justifica-se a priorização de investimentos em fontes renováveis de energia por serem aquelas de menor custo e serem sustentáveis em termos ambientais, garantindo assim ao Brasil uma condição impar em relação à Economia de Baixo Carbono, que será um diferencial competitivo das empresas brasileiras no médio prazo.

Anexo I

Metodologia de Cálculo do Custo de Abatimento de Gases do Efeito Estufa

A metodologia possui três etapas:

- 1 – Verificação das emissões evitadas de CO₂ para a produção de um kWh ao se produzir a partir de uma fonte renovável em comparação com a fonte fóssil de referência;
- 2 – Comparação entre o custo de geração destas duas fontes;
- 3 – Determinação do custo de abatimento de 1 tonelada de CO₂.

Como ilustração, se apresenta os cálculos para fonte eólica:

Passo 1:

Fator de Emissão da Geração Eólica: 30 gramas de CO₂ por kWh gerado

Fator de Emissão da Geração com Gás Natural: 400 gramas de CO₂ por kWh

Emissões Evitadas: $400 - 30 = 370$ gramas de CO₂ por kWh

Passo 2:

Custo de Geração Eólica: US\$ 60,00 por MWh

Custo da Geração com Gás Natural: US\$ 70,00 por MWh

Passo 3:

Custo de Abatimento de 1 tonelada de CO₂:

$$[(60 - 70) / 370] \times 1000 = - \text{US\$ } -27,00$$

Referências Bibliográficas

ABRANTES, Sérgio. *A Plataforma de Durban: divisor de água na política global do clima. Carbono Brasil*. Disponível em <<http://www.institutocarbonobrasil.org.br/artigos/noticia=729206>>. Acesso em 28/12/2011;

BANCO MUNDIAL. *Relatório sobre o desenvolvimento mundial 2010: Desenvolvimento e mudanças climáticas*. São Paulo. Ed UNESP- Banco Mundial, 2010.

CASTRO, Nivalde Jose; DANTAS, Guilherme de Azevedo; LEITE, André Luis da Silva; GOODWARD, Jenna. *Perspectivas para a Energia Eólica no Brasil*. Texto de Discussão n. 18. Rio de Janeiro: GESEL/IE/UFRJ, 2010a.

CASTRO, Nivalde José; DANTAS, Guilherme de Azevedo. *O Planejamento do Setor Elétrico Brasileiro e o Contexto Mundial de Mudanças Climáticas*. Revista Economia e Energia. Edição 76. 2010.

CASTRO, Nivalde José; BRANDÃO, Roberto; DANTAS, Guilherme de A. *O Potencial da Bioeletricidade, A Dinâmica do Setor Sucrenergético e o Custo Estimado dos Investimentos*. Texto de Discussão n. 24. Rio de Janeiro: GESEL/IE/UFRJ, 2010b.

DANTAS, Guilherme de A. *O Impacto dos Créditos de Carbono na Rentabilidade da Co-geração Sucrealcooleira Brasileira*. Dissertação de Mestrado. ISEG/Universidade Técnica de Lisboa, 2008.

DUTRA, Ricardo M. *Propostas de políticas específicas para energia eólica no Brasil após a primeira fase do PROINFA*. Tese de Doutorado. COPPE/Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2007.

ECOSECURITIES, 2009, *Forecasting the Future Value of Carbon - A Literature Review of Mid- to Long-Term Carbon Price Forecasts*, Report for NWPPCC. Disponível em <[http://www.nwcouncil.org/energy/grac/NWPPCC_EcoSecurities_Seminar_004.ppt#408,9,Overview of Credit Price Projections](http://www.nwcouncil.org/energy/grac/NWPPCC_EcoSecurities_Seminar_004.ppt#408,9,Overview%20of%20Credit%20Price%20Projections)>. Acesso em 10/05/2011.

EUROPEAN PHOTOVOLTAIC INDUSTRY ASSOCIATION, EPIA. *Global Market Outlook for Photovoltaic until 2015*. Bruxelas, 2011.

GLOBAL WIND ENERGY COUNCIL, GWEC. *Global Wind Report: annual market update 2010*. Bruxelas, 2011.

GOLDEMBERG, José; LUCON, Oswaldo. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. Editora da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007.

HOFFMANN, Bettina Susanne. *O Ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO₂: uma solução para mitigar as emissões de CO₂ em termoelétricas a carvão em larga escala no curto prazo?* Dissertação de Mestrado. PPE/COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2010.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *Key World Energy Statistics 2010*. IEA. Paris, 2010a.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2010*. IEA. Paris, 2010b.

INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook 2011*. IEA. Paris, 2011.

MINISTÉRIO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA. *INVENTÁRIO BRASILEIRO DAS EMISSÕES E REMOÇÕES ANTRÓPICAS DE GASES DE EFEITO ESTUFA: INFORMAÇÕES GERAIS E VALORES PRELIMINARES*. Brasília, 2009.

OLIVEIRA, Luis André Sá d'. *O BNDES e a Energia Eólica*. In: Políticas estratégicas de inovação e desenvolvimento tecnológico em energia eólica. GESEL/UFRJ. Rio de Janeiro, 2011.

PAINEL INTERGOVERNAMENTAL SOBRE A MUDANÇA DO CLIMA (IPCC). *Sumário para os Formuladores de Política – Quarto Relatório de Avaliação do Grupo de Trabalho I do IPCC*. Paris, 2007.

SANTOS, Mario. *Estratégias Empresariais da Endesa Brasil*. In: IV Seminário Internacional do Setor de Energia Elétrica. GESEL/UFRJ. Rio de Janeiro, 2009.

SOUZA, Z; AZEVEDO, P. *Protocolo de Kyoto e Co-Geração no Meio Rural: Configuração Institucional e Organizacional e Perspectivas*. AGRENER GD 2006. Campinas, 2006.

SOUSA, Eduardo Leão. *Etanol: Desafios e Oportunidades nos Mercados Nacional e Internacional*. II Workshop Infosucro/IE/UFRJ. Rio de Janeiro, 27 de Novembro de 2009.