



**SNPTEE  
SEMINÁRIO NACIONAL  
DE PRODUÇÃO E  
TRANSMISSÃO DE  
ENERGIA ELÉTRICA**

GIA 08  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

## **GRUPO XI**

### **GRUPO DE ESTUDO DE IMPACTOS AMBIENTAIS - GIA**

#### **REGULAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS NA GERAÇÃO DISTRIBUÍDA**

**José Policarpo Gonçalves de Abreu**

**Hector Arango**

**Grupo de Estudos da Qualidade da Energia Elétrica  
Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI**

## **RESUMO**

Os impactos ambientais na área de distribuição cobraram importância junto à tendência de “embutir” geração em tensões inferiores aos 230 kV, no intuito de injetar energia elétrica em pontos mais próximos do consumo.

Os efeitos deletérios das usinas térmicas sobre o ambiente e a sociedade, em particular, a emissão de gases associados a carbono e enxofre, constituem externalidades que, ao atuar sobre os agentes, erodem a eficiência do mercado como gerador de valor social.

Perante este cenário, ações regulatórias se fazem indispensáveis. Tradicionalmente, a regulação elétrica é feita através de um controle por comandos. Contudo, esta metodologia resulta comprometida quando existem assimetrias de informação, como é justamente o caso. Assim, o trabalho descreve e exemplifica uma técnica regulatória baseada na teoria de incentivos.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Geração distribuída, impacto ambiental, incentivo, direito negociável.

### **1.0 - INTRODUÇÃO**

O presente trabalho visa analisar o impacto ambiental da Geração Distribuída (GD), quantificá-lo economicamente e propor soluções através da teoria de incentivos.

A questão das externalidades e assimetrias de informação inerentes à GD é um bom exemplo de mercados onde a competição não atinge per se à eficiência. Nesse cenário, as medidas regulatórias rígidas levam geralmente a soluções mais caras das que oferecem os menus incentivo-compatíveis quando estes últimos são escolhidos criteriosamente.

Este é o caso dos direitos negociáveis de emissão, um tipo de menu em que os incentivos são transacionados de maneira espontânea, entre agentes cujos custos de internalização são distintos.

Como qualquer análise relativa a mercados com externalidades e mais ainda, referentes a produtos ou serviços considerados públicos, algum tipo de ação regulatória deve existir para garantir a eficiência social desses mercados. Estas transações devem pautar-se em princípios microeconômicos consistentes.

A seguir, encontrar-se-á uma versão sucinta desses fundamentos. É apenas através dos mesmos que é possível chegar a uma metodologia capaz de assegurar a racionalidade e isenção no tratamento de um tema onde o fator ideológico, por vezes, chega a escurecer o caminho das soluções.

## 2.0 - OS FUNDAMENTOS MICROECONÔMICOS

A regulação do mercado elétrico tem por objetivo precípuo maximizar o valor social que ele cria ao longo do tempo. O valor social, ou bem-estar público, é gerado em virtude das transações de energia elétrica, que são contratos elementares  $\langle E, T \rangle$  onde (E) é a quantidade do produto ou serviço e (T) a transferência monetária.

Para um nível de investimento (B) da firma produtora, sejam  $U(E)$ ,  $C(E, B)$  as funções de consumo e produção que subscrevem o contrato. Nestas condições os agentes auferem, cada um, certo excedente (*surplus*) que é o acréscimo de riqueza do agente em decorrência do contrato:

$$\begin{aligned} \text{Consumo: } & U - T \\ \text{Produção: } & T - C = \text{EVA} \end{aligned}$$

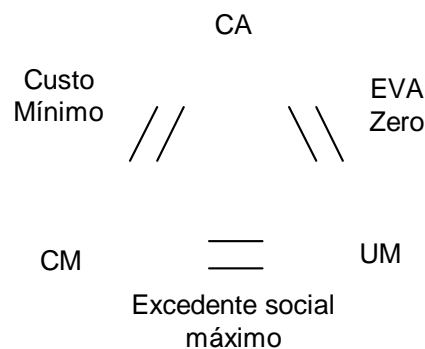
Onde EVA é o valor econômico agregado aos investidores da empresa (*Economic Value Added*).

A idéia de um excedente social parte da hipótese de que todos os indivíduos estão pelo menos em uma destas duas categorias, produtores e consumidores, (o que só é verdade quando o serviço elétrico é universalizado) então, tal excedente consiste na soma dos dois excedentes.

$$\text{Sociedade: } (U - T) + (T - C) = U - C$$

Ora, a teoria microeconômica sustenta que – sob algumas hipóteses – o excedente social atinge seu máximo quando duas quaisquer dentre três condições resultam satisfeitas.

Para destacar este fato, as condições são associadas aos lados de um triângulo. Cada condição equivale a igualar as variáveis que figuram nos vértices:



As variáveis associadas significam o custo e a utilidade marginais ((CM), (UM)) e o custo médio (CA).

No intuito de aproximar-se ao ótimo, procura-se capturar todo o EVA, isto é, o valor econômico agregado à sociedade como um todo (*Economic Welfare Added*) possível através dos leilões de energia. Em tese, o leilão estimula a empresa, tanto a sacrificar seu EVA como a minimizar seus custos (2).

Entretanto, no setor elétrico da geração distribuída existem duas circunstâncias que conspiram contra a eficiência do mercado assim regulado:

- 1- Assimetria de informação
- 2- Externalidades ambientais

## 3.0 - EXTERNALIDADES E INCENTIVOS

Este trabalho versa sobre o tratamento das externalidades ambientais. Contudo, implícitas no tratamento, existem fortes assimetrias de informação entre os agentes participantes. Assim, será necessário desenvolver uma terapêutica eficaz em ambos sentidos.

A resposta a estas demandas encontra-se na **Teoria de Incentivos**. A regulação por incentivos oferece aos agentes um menu ou cardápio de contratos (*take-or-leave*) a sua livre escolha. A idéia é que exista, para cada

agente, um contrato subótimo (*second best*), que lhe conceda um ganho adicional apenas suficiente para induzi-lo a agir com sinceridade. (renda de informação).

Por sua vez, o impacto ambiental da emissão de gases pela GD consiste uma externalidade, isto é, uma perda em bem-estar de outros agentes devido à própria atividade da GD. Neste caso específico, a teoria de incentivos funciona persuadindo a GD a internalizar uma parte do passivo ambiental que gera. Quão grande deve ser essa parte?

Em princípio, a situação ótima corresponderia a um equilíbrio entre os valores marginais do investimento da GD na melhoria da emissão e o prejuízo dos demais agentes. Entretanto, não há forma de monitorar tais custos, o que ocasiona um risco moral. Uma forma de providenciar incentivo é através de direitos negociáveis de poluição (DNP's) tal como se ilustra na próxima seção através de um exemplo.

A figura 1 ilustra uma situação elementar na qual a idéia em pauta pode ser aproveitada. A reta da figura representa a utilidade social de uma atividade em função da quantidade de produto ou serviço envolvida, enquanto as duas curvas convexas correspondem aos custos de dois tipos de agentes privados: um deles eficiente e o outro ineficiente.

A agência não tem como saber da eficiência desses agentes; se soubesse, atribuiria o contrato I ao agente eficiente e o II ao ineficiente, obtendo um valor social 0,75 (*first best*).

Mas, em função dessa ignorância, o agente eficiente tem a chance de escolher também o contrato II (fingindo-se ineficiente) usufruindo de um lucro 0,125 resultante do seu custo de produção menor.<sup>1</sup>

O menu incentivo-compatível substitui o contrato I pelo III, outorgando ao agente eficiente um incentivo de 0,125. Deste modo, ele não tem motivo para mentir. Assim, o incentivo corresponde ao pagamento apreço justo do valor da assimetria, ou renda de informação, do agente eficiente. Isto permite a agência arbitrar benefício público de 0,625, o máximo que é possível obter em um mercado imperfeito. Este benefício maior do que se conseguiria usando métodos mandatórios que não são capazes de coibir o disfarce.

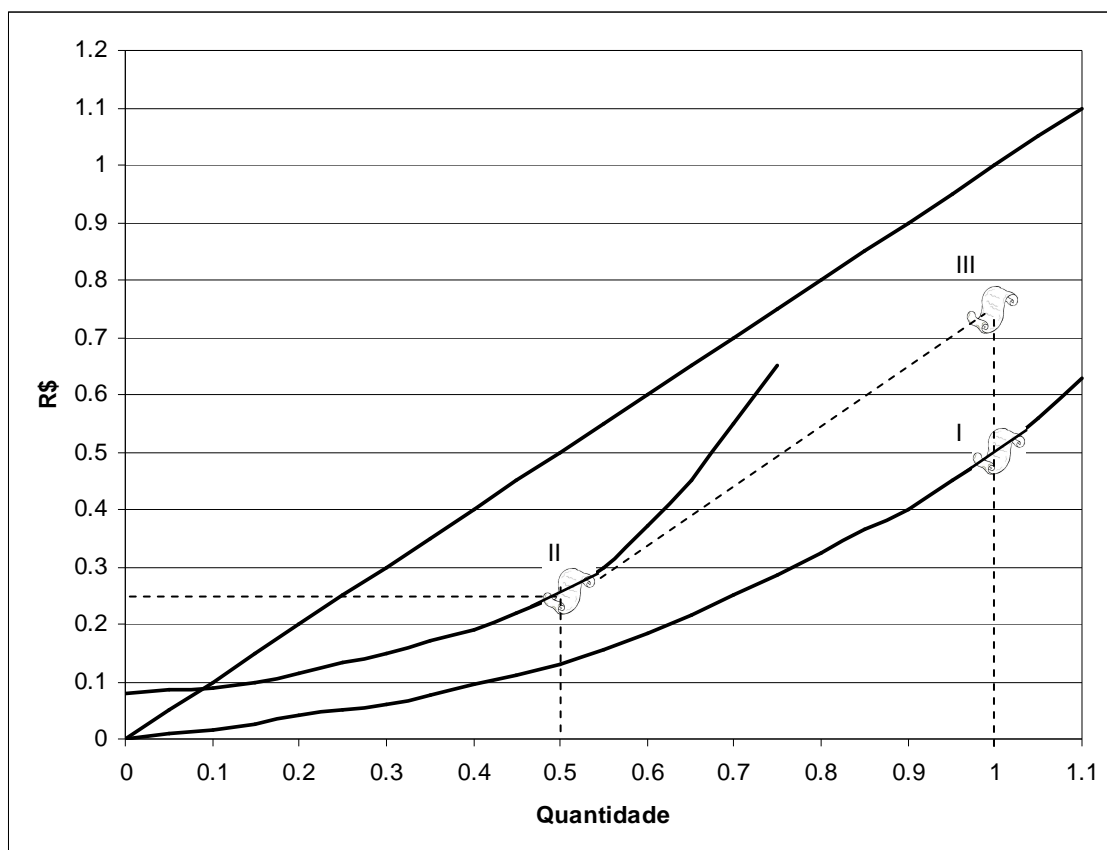


FIGURA 1 – Um exemplo do uso de incentivos

<sup>1</sup> Dependendo do timing na subscrição do contrato o evento é conhecido por “seleção adversa” ou “risco moral”.

#### 4.0. OPERANDO COM DIREITOS NEGOCIÁVEIS DE POLUIÇÃO

##### 4.1 O Cenário

Considerando-se duas unidades de GD, sendo que cada uma delas criaria importâncias  $EWA_1$ ,  $EWA_2$  de benefício público (*welfare added*), não fosse pela emissão de gases nocivos ao ambiente  $G_1$  e  $G_2$ .

Seja ainda:

$$C = (G_1 + G_2)^2$$

o prejuízo econômico provocado pelos gases.

Assumindo que a emissão seja proporcional a quantidade de energia gerada, os benefícios podem exprimir-se em função de  $G_1$  e  $G_2$ . Suponhamos que:

$$EWA_1 = 20G_1 - 10G_1^2 \qquad EWA_2 = 15G_2 - 5G_2^2$$

Portanto, o benefício líquido global EWA será:

$$EWA = EWA_1 + EWA_2 - C$$

##### 4.2 O Impacto da Emissão

Nestas condições, o EWA diminui do valor máximo ideal sem poluição ( $C = 0$ ), dado por  $EWA = 21,25$  (que corresponderia a emissões "limpas" de 1,0 e 1,25 respectivamente), para  $EWA = 16,44$  (associado a emissões "suja" de 0,808 e 1,115 respectivamente) que resulta de  $EWA_1 = 9,63$ ,  $EWA_2 = 10,51$  e um  $C = 3,70$ .

Nota-se que os gases despejados pelas GD diminuíram em  $\Delta_1 = 1,0 - 0,808 = 0,192$  e  $\Delta_2 = 1,5 - 1,115 = 0,385$ . Se a agência reguladora estivesse a par das funções ( $EWA_1$ ,  $EWA_2$ ), estes valores seriam adotados como metas de redução. Mas a agência não conhece as funções, e se pedir as empresas que as declarem não há certeza de que elas revelem a verdade. De fato, seus interesses as levariam a declarações que maximizassem o valor criado para seus investidores exclusivamente  $EVA_1$ ,  $EVA_2$ .

##### 4.3 O Sistema de Metas Rígidas

Assim, a agência é obrigada a fixar metas  $\hat{\Delta}_1, \hat{\Delta}_2$  de redução mais ou menos arbitrárias e sustentá-las através de um mecanismo punitivo (regulação comando-controle).

Imaginando-se que a agência pretenda levar o nível total de emissão para 1,9 (redução de 0,6) diminuindo a emissão das empresas para as metas rígidas  $\hat{G}_1 = 0,7$  e  $\hat{G}_2 = 1,2$  respectivamente.

Isto leva para  $EWA_1 = 9,1$ ,  $EWA_2 = 10,8$  e um  $C = 3,61$  o que corresponde a  $EWA = 16,29$ .

##### 4.4 O Uso de Incentivos Negociáveis<sup>2</sup>

Usando o recurso dos DPN, as empresas tendem a um equilíbrio subótimo  $G_1^* = 0,8$  e  $G_2^* = 1,1$ , onde

$$EWA_1 = 9,6, \quad EWA_2 = 10,45 \quad e \quad EWA^* = 16,44$$

Para chegar a este equilíbrio, a Empresa 1 compra da 2 DPN's que lhe permitam emitir 0,1 a mais (para obter um EWA 0,5 maior) pagando para isso 0,43.

<sup>2</sup> As DPN's constituem precisamente o menu de contratos incentivo-compatíveis: são contratos ao portador livremente negociáveis entre os agentes e o principal pode distribuí-los ou ainda vendê-los em leilão.

Nota-se que as empresas passam a ter EWA's líquidos de:

$$EWA_1^L = 9,6 - 0,43 = 9,17$$

$$EWA_2^L = 10,45 + 0,43 = 10,88$$

Ou seja, tanto a 1 como a 2 aumenta seu EWA e portanto são estimuladas a transacionar os DPN's e manter o novo status, onde o valor social criado é 0,15 maior que no caso das metas rígidas.

Prova-se ainda que as DPN's podem ser distribuídas entre os agentes de forma arbitrária: a negociação posterior leva o sistema a um ponto subótimo (*second best*) qualquer que seja a situação inicial do mercado. (este fato é uma instância particular de um conceito mais geral, conhecido como **Teorema de Coase (7)**).

## 5.0 CONCLUSÃO

Há várias conclusões importantes que podem extrair-se deste trabalho:

- 1- Os aspectos ambientais constituem um elemento substancial no modelo microeconômico do mercado elétrico em quanto à geração distribuída.
- 2- É possível introduzir quantitativamente os efeitos poluidores no modelo, assim como prever sua influência no ponto ótimo de operação.
- 3- O uso de direitos negociáveis de poluição constitui uma maneira eficiente de resolver o problema de informação oculta que é intrínseco ao modelo.
- 4- A análise mostra ainda que as políticas regulatórias rígidas devem ser substituídas sempre que possível por estratégias baseadas em incentivos.

## 6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Mas-Colell, A.; Whinston, M. D.; Green, J. "Microeconomic Theory" Oxford University Press, 1995.
- (2) Jehle, G. A.; Reny, P. G. "Advanced Microeconomic Theory" Addison, Wesley & Longman 2000.
- (3) Culp, C. L. "Structured Finance & Insurance" John Wiley, 2006.
- (4) Tirole, C. "The Theory of Corporate Finance" Princeton University Press, 2006.
- (5) Laffont, J-J; Martimort, D. "The Theory of Incentives" Princeton University Press, 2002.
- (6) Campbell, D. E. "Incentives: Motivation and Economics of Information" Cambridge University Press, 2006.
- (7) Coase, R. H. "The Problem of Social Cost" Journal of Law and Economics, 3: 144-171, 1960.
- (8) Schmalensee, R. P. L; Et Alii "An Interim Evaluation of SO<sub>2</sub> Emissions Trading" Journal of Economic Perspectives.
- (9) Chichilnisky, G.; Heal, G. "Global Environment Risk" Journal of Economic Perspectives 7:65-86, 1993.
- (10) \_\_\_\_\_ "Catastrophe Futures: Financial Markets for Unknown Risks" Market, Information and Uncertainty 120-40 Cambridge University Press, 1999.
- (11) Cramton, P.; Kerr, S. "Tradeable Carbon Permit Auctions" Energy Policy 30:333-345, 2002.

## 7.0 DADOS BIOGRÁFICOS

Prof. Hector Arango

Nascido em Bahia Blanca, Argentina, em 28 de Abril de 1935.

Doutorado: Escola Politécnica de São Paulo e Mestrado: UNIFEI

Professor da UNIFEI na área de Qualidade da Energia Elétrica

Prof. José Policarpo Gonçalves de Abreu

Nascido na Ilha da Madeira, Portugal em 1952.

Pós-doutorado (2000): WPI – USA, Doutorado (Unicamp – SP)

Professor da UNIFEI na área de Qualidade da Energia Elétrica