

CÁLCULO DE DIVISÃO DE COTAS DE EMISSÃO DE CO₂ SEGUNDO A MODELAGEM DEA GSZ COM RETORNOS HÍBRIDOS DE ESCALA

Marco Aurélio Macedo

Mestrado em Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, CEP.:24210-240, Niterói, RJ
marconauff@yahoo.com.br

João Carlos Correia Baptista Soares de Mello

Departamento de Engenharia de Produção – Universidade Federal Fluminense
Rua Passo da Pátria 156, São Domingos, CEP.: 24210-240, Niterói, RJ
jcsmello@producao.uff.br

Resumo

A entrada em vigor do Protocolo de Kioto em fevereiro de 2005 representou uma importante etapa do compromisso ecológico assumido por diversos países. Dentre os aspectos mais importantes do protocolo está a questão das cotas de carbono para cada país. Para estudar uma decisão mais justa da divisão de cotas recorreu-se ao método de Análise Envoltória de Dados (DEA) para traçar a eficiência comparativa entre os diversos países. Mais especificamente, o modelo DEA utilizado é conhecido como DEA GSZ Híbrido, dito GSZ por ser um modelo de Ganhos de Soma Zero, ou seja, quando o somatório de inputs e outputs permanece constante mesmo quando todas as unidades produtivas em estudo se deslocam para a fronteira de eficiência. É também conhecido como um modelo com comportamento híbrido, sendo em parte da região de operação um modelo CRS e em outra parte VRS., os quais, como é mostrado, são casos particulares deste novo modelo geral.

Palavras-chave: Protocolo de Kioto - DEA - DEA GSZ Híbrido

Abstract

The coming into effect of the Kyoto Protocol in February, 2005, represented an important stage of the ecological commitment assumed by several countries. Among the most important aspects of the protocol is the issue of the quotas of carbon for each country. To study a more adequate decision of the division of quotas the Data Envelopment Analysis (DEA) methodology was used to trace the comparative efficiency among the several countries. More specifically, the DEA model is known as a Hybrid DEA GSZ, called GSZ for being a model of Zero Sum Gains, that is, when the sum of inputs and outputs remains constant, even when all the productive units in study move to the efficiency frontier. It is also known as a model with a hybrid behavior, being a model CRS in a part of the operation region, and a VRS model in another.

Keywords: KYOTO PROTOCOL – DEA – DEA GSZ HYBRID

1. INTRODUÇÃO

O aquecimento global enfrentado pelo planeta Terra vem se intensificando ao longo das últimas décadas. Este aquecimento é atribuído principalmente ao efeito estufa provocado pelo alto índice de emissão de gases poluentes pelos países. Estes gases são produzidos muito em função do desenvolvimento das indústrias. O principal desses gases é o dióxido de carbono, o CO₂.

O protocolo de Kioto, elaborado na década de 90, busca um acordo entre os países poluentes, no qual, seja possível não só se estabilizar a soma de poluição produzida, mas também

torná-la o mais eficiente possível, ou seja, dado uma soma de poluições aceitáveis, que ela esteja dividida entre os países da maneira mais eficiente maximizando os benefícios agregados aos nichos de negócio que provocam tais índices de poluição.

Outro aspecto importante na divisão de cotas de poluição é o de garantir-se que países muito eficientes tecnologicamente venham a concentrar altas cotas de CO₂ em pequenas extensões territoriais o que causaria estragos severos e pontuais na camada de ozônio.

Importante ferramenta a ser utilizada é o DEA denominado Híbrido, como visto em COOPER et al (2000). É conhecido como híbrido porque assume comportamento distinto nas diversas regiões de operação. Pode se comportar inicialmente como retorno constante de escala e posteriormente, para grandes valores, como retornos variáveis de escala, ou ainda ao contrário, sendo como retorno variável de escala e posteriormente, para grandes valores, como retorno constantes de escala

Esta modelagem do problema virá a atender com maior precisão a questão modelo tratada neste artigo.

Para fundamentar o estudo de caso apresentado, será apresentado nos próximos itens: DEA com retornos híbridos de escala e o acréscimo de variáveis em modelos DEA GSZ.

2. DEA HÍBRIDO

Esta modelagem DEA é conhecida como híbrido, justamente por apresentar uma configuração onde o modelo é tratado de maneira distinta, híbrida, em diferentes partes da curva de eficiência, ou seja, até determinado ponto se comporta como sendo um modelo e a partir deste ponto se comporta como se fosse outro modelo distinto.

O Modelo DEA híbrido que está sendo apresentado, é, portanto, uma “mistura” entre os dois modelos DEA Clássicos, o CRS e o VRS. Por possuir duas regiões de operação, pode-se montar o DEA Híbrido VRS-CRS, ou ainda CRS-VRS.

Observando a figura 2.1 abaixo,

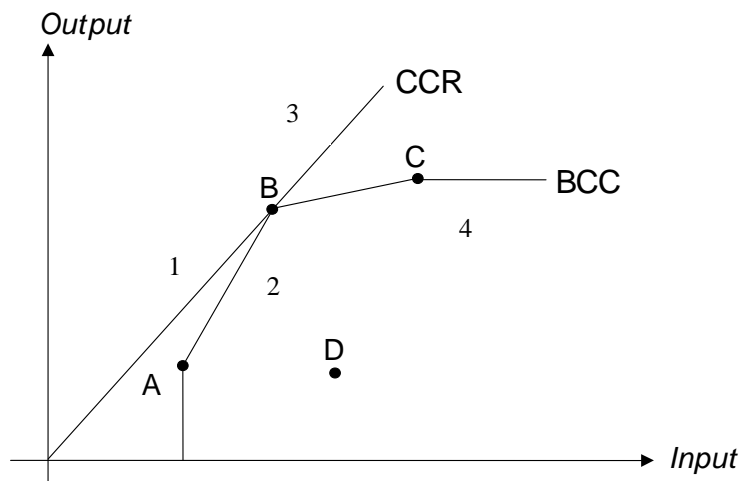


Fig.2.1 Representação das fronteiras BCC e CCR.

Percebe-se que nos modelos DEA clássicos a curva de envelopamento seria dada para o CRS como sendo os segmentos 1 e 3. Já para o modelo VRS a curva de envelopamento seria construída pelos segmentos 2 e 4.

Já para os modelos Híbridos, VRS-CRS será formado pelos segmentos 2 e 3, enquanto o modelo CRS-VRS será formado pelos segmentos 1 e 4. O modelo VRS-CRS deverá ser utilizado quando se desejar dar ganhos crescentes de escala a pequenos valores de entrada e proporcionais a grandes valores, já o modelo CRS-VRS deverá dar ganhos constantes de escala para pequenos

valores e ganhos decrescentes de escala para grandes valores.

Do ponto de vista das equações de restrição dos modelos Clássico, a diferença a ser colocada para a correta modelagem híbrida refere-se aos valores que λ pode assumir. Como vimos, a diferença entre o modelo CRS e o VRS é que, neste último, adiciona-se a restrição que diz que “o somatório de todos os λ deve ser iguais a unidade” Esta restrição imprime a convexidade na curva de eficiência.

No DEA Híbrido, quando o $\Sigma\lambda \geq 1$ então ele assumirá o comportamento VRS-CRS, que dá ganho crescente de escala para pequenos valores e ganhos constantes de escala para grandes valores. Quando o $\Sigma\lambda \leq 1$, então ele assumirá o comportamento CRS-VRS, que dá ganho constante de escala para pequenos valores e ganhos decrescentes de escala grandes valores.

Desta forma, pode-se enunciar o PPL de alguns dos modelos

DEA Híbrido VRS-CRS modelo envelope com orientação a Input

Min h_0

sujeito a

$$\begin{aligned} h_0 x_{i0} - \sum_k x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \quad \forall i \\ -y_{j0} + \sum_k y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \quad \forall j \\ \Sigma\lambda &\geq 1 \\ \lambda_k &\geq 0, \quad \forall k \end{aligned} \tag{2.1}$$

DEA Híbrido CRS-VRS modelo envelope com orientação a Input

Min h_0

sujeito a

$$\begin{aligned} h_0 x_{i0} - \sum_k x_{ik} \lambda_k &\geq 0, \quad \forall i \\ -y_{j0} + \sum_k y_{jk} \lambda_k &\geq 0, \quad \forall j \\ \Sigma\lambda &\leq 1 \\ \lambda_k &\geq 0, \quad \forall k \end{aligned} \tag{2.2}$$

Demais modelos existentes, sejam de multiplicadores ou com orientação a output possuem adaptação idêntica quando desenhados para serem híbridos, conforme demonstrado nos modelos 2.1 e 2.2 e, portanto, não serão escritos aqui.

Esta modelagem é aplicável em muitos momentos quando se pretende dar benefício de ganho de escala para pequenas produções ou mesmo restringir em ganho de escala grandes produções. Neste artigo será utilizada esta ferramenta em harmonia com o enfoque do modelo proposto ao problema.

A modelagem DEA GSZ híbrida é totalmente correlata à modelagem DEA Híbrida, ou seja, a adaptação ao modelo depende exclusivamente da inserção do termo $\Sigma\lambda$, no caso CRS, ou da adaptação do termo $\Sigma\lambda$, no caso VRS. Toda a teoria sobre DEA híbrido descrita no anteriormente se estende a modelagem DEA GSZ Híbrida.

3. ACRESCENTANDO VARIÁVEIS EM MODELOS DEA GSZ

A escolha de variáveis em modelos DEA deve ser bastante criteriosa fim de garantir que as principais variáveis que efetivamente irão determinar a eficiência do modelo estejam todas contempladas.

Além disso, é importante evitar a inclusão de variáveis pouco relevantes garantindo, desta

forma, que DMUs não eficientes atinjam a fronteira de eficiência através dessa variável, afinal, em DEA clássico, a inclusão de qualquer variável não diminui a eficiência de nenhuma DMU e pode, apenas, aumentar a de algumas.

Para o caso de modelos DEA GSZ deve-se tomar o mesmo cuidado na escolha de variáveis. Assim como em DEA Clássico a inclusão de variáveis ao modelo não diminui a eficiência de nenhuma DMU, contudo, por ser um jogo de soma zero, quando da realocação de recursos a inclusão é restritiva a medida que irá beneficiar determinada DMU que tenha desempenho comparativamente melhor que as demais em relação a esta nova variável. Isto acontece pois tendo sua eficiência aumentada por essa variável, no momento da divisão de recursos lhe caberá maior parcela.

4. O PROTOCOLO DE KIOTO E A REDISTRIBUIÇÃO DE COTAS

Em 1997 realizou-se, em Kioto, no Japão, a terceira conferência das Nações Unidas sobre mudança do clima, com a presença de representantes de mais de 160 países. Teve alguns objetivos, dos quais se destaca o principal:

- fixar compromissos de redução e limitação da emissão de dióxido de carbono e outros gases responsáveis pelo efeito estufa, para os países e que reduzam (e controlem) até 2008-2012 as emissões de gases que causam o efeito estufa em aproximadamente 5% abaixo dos níveis registrados em 1990

Para alcançar as metas estabelecidas pelo protocolo de Kioto, os países podem realizar reduções de suas próprias produções até igualarem os valores estabelecidos ou podem procurar atender aos chamados “mecanismos flexíveis” para cumprir com seus objetivos: Implementação conjunta, Comércio de emissões e Mecanismo de Desenvolvimento Limpo

4.1. COMÉRCIO DE EMISSÕES

Determina que os países que estão abaixo do nível de produção de gases permitida pelo protocolo de kioto podem ceder o direito de poluição a demais países que já tenham ultrapassado os seus limites, ou seja, haveria uma troca de cotas de emissão, sem contudo alterar a soma total

4.2. MECANISMO DE DESENVOLVIMENTO LIMPO (MDL)

Em junho de 1997, o Brasil havia feito uma proposta, o Fundo de Desenvolvimento Limpo (FDL), que estaria constituído pelas multas pagas pelos países desenvolvidos que não cumprissem com as metas de redução de emissões. Esta proposta teve forte apoio dos países emergentes, mas teve frontal oposição de todos os países desenvolvidos. Em outubro de 1997, porém, aconteceu um desdobramento inesperado: EUA e Brasil articularam uma versão alterada do FDL que se denominou Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

O MDL abriu a possibilidade dos países desenvolvidos cumprirem parte das suas metas de redução de emissão através do financiamento de projetos de desenvolvimento sustentável nos países emergentes e pobres. O MDL acabou sendo uma das grandes novidades do Protocolo e, através dele, o Brasil aceitou o conceito de mecanismos de mercado flexibilizadores para complementar os compromissos de redução de emissões dos países desenvolvidos.

O MDL, portanto, determina que países emissores excedentes de gases poderiam investir nos países não excedentes de modo a tornar mais eficiente a sua emissão possibilitando, desta forma, para si aumentar a sua poluição sem contudo alterar a soma total pré-estabelecida.

Estes dois mecanismos citados fazem parte de um “mercado de carbono”, cujo objetivo, segundo BELISÁRIO (2002) é tornar viável o alcance das metas estabelecidas pelo protocolo de Kioto.

4.3. REDISTRIBUIÇÃO DE COTAS

O Protocolo de Kioto, conforme citado neste item, prevê a obrigatoriedade de redução de emissão de CO₂ apenas para os países que constam no denominado Anexo I do protocolo que é

composto por países que já conquistaram seu desenvolvimento econômico.

Entretanto, demais países que possuem significativa parcela de emissão de CO₂ não possuem qualquer obrigatoriedade ou compromisso com valores de redução, embora a maioria deles tenha assinado e retificado o protocolo.

Quando as regras do protocolo foram criadas, não se levou em consideração os diversos fatores que compõem o cenário sócio-econômico de cada país, apenas determinou-se um percentual único para que os países do Anexo I estimassem sua redução.

A poluição de CO₂ gerada por esses países não é gratuita. É resultado do progresso de cada um deles e fruto das atividades sociais, industriais e econômicas neles desenvolvidas. Desta forma, esse “malefício” produzido por cada um dos países é agregado a determinado “benefício” também produzido por eles. Esta medida entre a quantidade de bônus e a quantidade de ônus realizada por cada país é informação fundamental para uma proposta de divisão de cotas de CO₂ mais “otimizada” que permita que possa poluir mais o país que é mais eficiente, ou seja, que produz maiores benefícios comparativamente.

Desta forma, faz sentido levar em consideração neste processo a quantidade de pessoas que fazem parte do país, afinal, quanto maior a demanda, maior deve ser a oferta pelos bens de consumo sendo natural e digno que países mais populosos tenham o direito de poluir mais.

Igualmente, o tamanho do país, a região geográfica pela qual pode se dispersar o CO₂ também deverá ser levada em consideração, possibilitando a países mais extensos que produzam mais CO₂ comparativamente a países com menor extensão.

Um outro ponto importante é que países importadores de produtos cujo processo de fabricação gere CO₂ tenderão a deixar o “malefício” gerado nos países exportadores. Contudo, não parece razoável penalizar países que possuem tecnologia e competitividade de mercado para exportação por terem atividade econômica-industrial intensa, uma vez que pela condição de exportadores que possuem devem realizar todo o processo com diferencial competitivo, de maneira otimizada, com excelentes relações de “benefício realizado” sobre “malefício gerado”. Desta forma, convém possibilitar que estes países poluam comparativamente mais do que os países importadores. Uma boa relação do desenvolvimento de determinado país pode ser retirado da quantidade de energia produzida por ele.

Portanto, neste artigo, no item que segue, será feito um estudo que propõe uma redistribuição de cotas diferenciada, procurando eleger países mais eficientes a poluírem mais e privar países ineficientes a poluírem menos. Neste caso, procurando-se manter constantes as somas totais de poluentes, a utilização de DEA GSZ se mostra muito apropriada, uma vez que determina justamente a eficiência das DMUs pela comparação entre os atributos escolhidos e garantirá a soma final de recursos como sendo constante.

5. CÁLCULO DA REDISTRIBUIÇÃO DE COTAS

Inicialmente, temos os seguintes dados do modelo, como mostrado na tabela 5.1:

DMUs	CO2	Populacao	Energia	Area	DMUs	CO2	Populacao	Energia	Area
Alemanha*	223,24	82,36	14351,56	357021	Itália*	121,5	57,95	8110,68	301230
Argentina	34,85	37,52	2664,87	2766890	Japão*	315,83	127,34	21921,99	377835
Austrália*	99,03	19,49	4974,21	7686850	Kasaquistão	33,37	14,83	1734,57	2727300
Áustria*	18,19	8,08	1419,42	83858	Letônia*	2,65	2,36	205,87	64589
Bélgica*	39,36	10,26	2773,55	32545	Lituânia*	4,33	3,49	329,19	65200
Bolívia	2,62	8,47	161,63	1098580	Luxemburgo*	2,47	0,44	203,1	2586
Brasil	95,77	172,39	8782,12	8511965	Malásia	36,15	23,63	2274,95	329750
Bulgária*	15,48	7,87	927,93	110910	Maldivas	0,13	0,28	6,77	300
Canadá*	156,19	31,08	12513,07	9976140	Malta	1,07	0,39	51,41	316
Chile	14,75	15,4	1060,29	756950	México	96,06	101,75	6004	1972550
China	831,74	1285	39665,26	9596960	Nicarágua	1,02	5,21	58,12	129494
CoréiadoSul	120,8	47,34	8058,12	98480	Noruega*	11,45	4,51	1906,09	324220
CostaRica	1,39	3,87	154,08	51100	NovaZelândia*	9,61	3,85	844,12	268680
Croácia*	5,69	4,66	429,16	56542	Panamá	2,26	2,86	138,46	78200
Dinamarca*	16,24	5,33	895,23	43094	Paraguai	0,96	5,64	110,93	406750
Egito	34,29	67,89	2132,6	1001450	Peru	7,18	26,35	550,33	1285220
ElSalvador	1,53	6,4	114,66	21040	Polónia*	78,61	38,64	3536,04	312685
Eslováquia*	10,83	5,4	832,04	48845	Portugal*	16,25	10,02	1088,21	92391
Eslovênia*	4,06	1,99	305,56	20253	ReinoUnido*	154,33	59,54	9810,06	244820
Espanha*	82,72	40,27	5699,31	504782	RepúblicaTcheca*	29,01	10,29	1530,56	78866
EstadosUnidos*	1565,31	283,97	97049,87	9629091	Romênia*	25,97	22,41	1637,66	237500
Estônia*	1,94	1,38	95,67	45226	Rússia*	440,26	144,4	28197,17	17075200
Filipinas	18,62	77,13	1254,27	300000	Seychelles	0,17	0,08	8,45	455
Finlândia*	14,4	5,19	1326,01	337030	Suécia*	14,58	8,83	2221,19	449964
França*	108,13	59,19	10521,36	547030	Suíça*	12,27	7,23	1304,67	17363
Grécia*	28,08	10,6	1393,2	131940	Tailândia	48,49	62,91	2903,94	514000
Guatemala	2,52	11,68	158,7	108890	Turkmenistão	7,68	4,88	477,26	488100
Holanda*	67,52	16,04	4231,06	41526	Ucrânia*	96,58	49,11	6076,24	603700
Honduras	1,27	6,58	86,47	112090	Uruguai	1,69	3,36	157,36	176220
Indonésia	87,13	214,84	4629,78	1904556	Uzbequistão	30,16	25,56	2075,01	447400
Irlanda*	11,15	3,84	609,29	70273	Vietná	12,56	79,18	760,13	329560
Israel	16,32	6,45	792,02	20770	Zâmbia	0,56	10,65	89,46	752614

Tabela 5.1. – Dados Iniciais

DMUs	CRS	VRS	Híbrido VRS - CRS	Prevaleceu	DMUs	CRS	VRS	Híbrido VRS - CRS	Prevaleceu
Alemanha*	0,386649	0,78182	0,386649	CRS	Itália*	0,40169	0,672782	0,40169	CRS
Argentina	0,461377	0,789603	0,461377	CRS	Japão*	0,417472	0,967811	0,417472	CRS
Austrália*	0,303849	0,862389	0,303849	CRS	Kasaquistão	0,314481	0,69179	0,314481	CRS
Áustria*	0,469311	0,481011	0,469311	CRS	Letônia*	0,4682	0,474654	0,474654	VRS
Bélgica*	0,423498	0,528597	0,423498	CRS	Lituânia*	0,458045	0,461222	0,461222	VRS
Bolívia	0,383115	1	0,383115	CRS	Luxemburgo*	0,493941	0,502522	0,502522	VRS
Brasil	0,554277	1	0,554277	CRS	Malásia	0,379123	0,477727	0,379123	CRS
Bulgária*	0,36088	0,361265	0,36088	CRS	Maldivas	0,317227	1	1	VRS
Canadá*	0,482793	1	0,482793	CRS	Malta	0,289163	0,338443	0,338443	VRS
Chile	0,433705	0,530468	0,433705	CRS	México	0,37747	0,638318	0,37747	CRS
China	0,289576	1	0,289576	CRS	Nicarágua	0,353056	0,389243	0,389243	VRS
CoréiadoSul	0,401216	0,666791	0,401216	CRS	Noruega*	1	1	1	CRS
CostaRica	0,671338	0,681563	0,681563	VRS	NovaZelândia*	0,528064	0,529022	0,529022	VRS
Croácia*	0,454461	0,456304	0,456304	VRS	Panamá	0,370452	0,377759	0,377759	VRS
Dinamarca*	0,331568	0,331914	0,331568	CRS	Paraguai	0,706516	0,7174	0,7174	VRS
Egito	0,377567	0,661983	0,377567	CRS	Peru	0,467983	1	0,467983	CRS
ElSalvador	0,458852	0,464748	0,464748	VRS	Polónia*	0,271044	0,390246	0,271044	CRS
Eslováquia*	0,462193	0,462741	0,462741	VRS	Portugal*	0,403266	0,421944	0,403266	CRS
Eslovênia*	0,452774	0,457004	0,457004	VRS	ReinoUnido*	0,382352	0,650464	0,382352	CRS
Espanha*	0,414581	0,657475	0,414581	CRS	RepúblicaTcheca*	0,317429	0,334618	0,317429	CRS
EstadosUnidos*	0,372516	1	0,372516	CRS	Romênia*	0,380349	0,453084	0,380349	CRS
Estônia*	0,297523	0,307849	0,307849	VRS	Rússia*	0,385587	1	0,385587	CRS
Filipinas	0,413271	0,886875	0,413271	CRS	Seychelles	0,299351	0,816096	0,816096	VRS
Finlândia*	0,553463	0,553656	0,553463	VRS	Suécia*	0,915677	1	0,915677	CRS
França*	0,585191	1	0,585191	CRS	Suíça*	0,639463	0,645655	0,639463	CRS
Grécia*	0,298606	0,315757	0,298606	CRS	Tailândia	0,36225	0,589878	0,36225	CRS
Guatemala	0,388018	0,443467	0,388018	VRS	Turkmenistão	0,374923	0,375614	0,375614	VRS
Holanda*	0,376619	0,551436	0,376619	CRS	Ucrânia*	0,378708	0,611081	0,378708	CRS
Honduras	0,419873	0,428702	0,428702	VRS	Uruguai	0,563161	0,57221	0,57221	VRS
Indonésia	0,324262	1	0,324262	CRS	Uzbequistão	0,414769	0,525054	0,414769	CRS
Irlanda*	0,328721	0,329702	0,329702	VRS	Vietná	0,376891	1	0,376891	CRS
Israel	0,292134	0,292376	0,292376	VRS	Zâmbia	1	1	1	CRS

Tabela 5.2. – Eficiência DEA Híbrida

As variáveis que possuem o “*” são participantes do Anexo A do Protocolo de Kioto.

Os resultados aplicando-se Modelagem DEA Híbrido constam na tabela 5.2, onde são apresentadas as eficiências CRS, VRS e híbrida. Na última coluna mostra se a híbrida se comportou como CRS ou VRS, ou seja, em qual região de operação cada DMU se encontra.

Por fim, após calculada a eficiência de DEA clássico Híbrido, resolve-se o modelo para ganhos de soma zero, apresentados na tabela 5.3 abaixo.

DMUs	Híbrido VRS -CRS	CO2 - Original	CO2 Pós-redistribuição	Variação ton3	Variação %	DMUs	Híbrido VRS -CRS	CO2 - Original	CO2 Pós-redistribuição	Variação ton3	Variação %
Alemanha*	39%	223,24	227,59	4,3456	2%	Itália*	40%	121,50	128,68	7,1836	6%
Argentina	46%	34,85	42,39	7,5450	22%	Japão*	42%	315,83	347,65	31,8155	10%
Austrália*	30%	99,03	79,34	-19,6921	-20%	Kasaquistão	31%	33,37	27,67	-5,7002	-17%
Áustria*	47%	18,19	22,51	4,3186	24%	Letônia*	47%	2,65	3,32	0,6665	25%
Bélgica*	42%	39,36	43,95	4,5903	12%	Lituânia*	46%	4,33	5,27	0,9357	22%
Bolívia	38%	2,62	2,65	0,0266	1%	Luxemburgo*	50%	2,47	3,27	0,8027	32%
Brasil	55%	95,77	139,96	44,1927	46%	Malásia	38%	36,15	36,14	-0,0136	0%
Bulgária*	36%	15,48	14,73	-0,7504	-5%	Maldivas	100%	0,13	0,34	0,2128	164%
Canadá*	48%	156,19	198,82	42,6346	27%	Malta	34%	1,07	0,95	-0,1152	-11%
Chile	43%	14,75	16,87	2,1172	14%	México	38%	96,05	95,60	-0,4549	0%
China	29%	831,74	635,05	-196,6929	-24%	Nicarágua	39%	1,02	1,05	0,0268	3%
Coréia do Sul	40%	120,80	127,79	6,9912	6%	Noruega*	100%	11,45	30,19	18,7399	164%
Costa Rica	68%	1,39	2,50	1,1079	80%	Nova Zelândia*	53%	9,61	13,40	3,7946	39%
Croácia*	46%	5,69	6,85	1,1558	20%	Panamá	38%	2,26	2,25	-0,0090	0%
Dinamarca*	33%	16,24	14,20	-2,0424	-13%	Paraguai	72%	0,96	1,82	0,8559	89%
Egito	38%	34,29	34,14	-0,1536	0%	Peru	47%	7,18	8,86	1,6795	23%
El Salvador	46%	1,53	1,87	0,3448	23%	Polónia*	27%	78,61	56,18	-22,4311	-29%
Eslováquia*	46%	10,83	13,21	2,3636	22%	Portugal*	40%	16,25	17,28	1,0263	6%
Eslovênia*	46%	4,06	4,89	0,8322	20%	Reino Unido*	38%	154,33	155,59	1,2557	1%
Espanha*	41%	82,72	90,42	7,7023	9%	República Tcheca*	32%	29,01	24,28	-4,7299	-16%
Estados Unidos*	37%	1585,31	1537,45	-27,8594	-2%	Romênia*	38%	25,97	26,04	0,0741	0%
Estônia*	31%	1,94	1,57	-0,3653	-19%	Rússia*	39%	440,26	447,60	7,3373	2%
Filipinas	41%	18,62	20,29	1,6695	9%	Seychelles	82%	0,17	0,37	0,1958	115%
Finlândia*	55%	14,40	21,02	6,6212	46%	Suécia*	92%	14,58	35,20	20,6211	141%
França*	59%	108,13	166,84	58,7098	54%	Suíça*	64%	12,27	20,69	8,4179	69%
Grécia*	30%	28,08	22,11	-5,9719	-21%	Tailândia	36%	48,49	46,31	-2,1756	-4%
Guatemala	39%	2,52	2,58	0,0582	2%	Turkmenistão	38%	7,68	7,61	-0,0740	-1%
Holanda*	38%	67,52	67,05	-0,4713	-1%	Ucrânia*	38%	96,58	96,44	-0,1421	0%
Honduras	43%	1,27	1,44	0,1655	13%	Uruguai	57%	1,69	2,55	0,8598	51%
Indonésia	32%	87,13	74,49	-12,6363	-15%	Uzbequistão	41%	30,16	32,98	2,8233	9%
Irlanda*	33%	11,15	9,69	-1,4571	-13%	Vietnã	38%	12,56	12,48	-0,0787	-1%
Israel	29%	16,32	12,58	-3,7389	-23%	Zâmbia	100%	0,56	1,48	0,9165	164%

Tabela 5.3 - Eficiências Híbridas, CO2 antes e depois da redistribuição e variação de CO2 modular e percentual

Obedecendo-se as variações de CO2 impostas a cada país bem como os níveis finais de emissão pós-redistribuição, então todos os países deverão apresentar eficiência de 100%.

5.1. ANÁLISE DOS RESULTADOS DO MODELO

Uma vez realizadas todas as contas e dado solução ao modelo, cabe extrair, então, as informações e gerar suas conclusões. Tendo em vista o número de variáveis e de DMUs e a quantidade de combinações e grupos que podem ser isolados e analisados (ex Países do Anexo I, Países do Hemisfério SUL ou Norte, Países Industrializados, entre outras) faz-se necessário certa organização e tabulação dos dados.

Tratando-se de uma modelagem DEA na qual as eficiências encontradas são comparativas optou-se por utilizar o Método de Borda como em SOARES DE MELLO et al (2002), com certa modificação, uma vez que foram determinadas apenas 3 pontuações para os países, tendo portanto mais de um país com mesma pontuação. Assim como no método de Borda convencional a regra é que quanto menor a pontuação de determinado país segundo aquela variável, então melhor ele se encontra colocado.

As 4 variáveis, CO2, Energia, População e Área, foram pontuadas, agregando os países em 3 grupos para cada variável, a saber: Grupo 1, 2 e 3, conforme pode ser visto na tabela 5.4, onde existe uma coluna de cada variável com os valores do modelo e 4 colunas a direita a sua classificação quanto aos grupos e faixas criados. Estas faixas foram estabelecidos procurando deixar no grupo 1 poucos países responsáveis pela maior parte de produção daquela variável, os países do grupo 2 são aqueles com níveis da variável médios e os países do grupo 3 apresentam os índices mais baixos contribuindo com menos do que 10% do somatório total daquela variável.

Esta classificação servirá como base nos itens de análise, a seguir, quando se referenciar os níveis que cada país assume para cada variável, entre reduzido (3), moderado (2) e elevado (1).

DMUs	CO2	Area	População	Energia	Ganha?	Soma Output	Anexo 1
Alemanha*	1	2	2	1	sim	5	sim
Argentina	2	2	2	2	sim	6	
Austrália*	2	1	2	2	não	5	sim
Áustria*	2	3	3	3	sim	9	sim
Bélgica*	2	3	2	2	sim	7	sim
Bolívia	3	2	3	3	sim	8	
Brasil	2	1	1	2	sim	4	
Bulgária*	2	3	3	3	não	9	sim
Canadá*	1	1	2	1	sim	4	sim
Chile	2	2	2	3	sim	7	
China	1	1	1	1	não	3	
CoréiadoSul	1	3	2	2	sim	7	
CostaRica	3	3	3	3	sim	9	
Croácia*	3	3	3	3	sim	9	sim
Dinamarca*	2	3	3	3	não	9	sim
Egito	2	2	2	2	não	6	
ElSalvador	3	3	3	3	sim	9	
Eslováquia*	2	3	3	3	sim	9	sim
Eslovênia*	3	3	3	3	sim	9	sim
Espanha*	2	2	2	2	sim	6	sim
EstadosUnidos*	1	1	1	1	não	3	sim
Estônia*	3	3	3	3	não	9	sim
Filipinas	2	2	2	3	sim	7	
Finlândia*	2	2	3	3	sim	8	sim
França*	1	2	2	1	sim	5	sim
Grécia*	2	3	2	3	não	8	sim
Guatemala	3	3	2	3	sim	8	
Holanda*	2	3	2	2	não	7	sim
Honduras	3	3	3	3	sim	9	
Indonésia	2	2	1	2	não	5	
Irlanda*	2	3	3	3	não	9	sim
Israel	2	3	3	3	não	9	
Itália*	1	2	2	2	sim	6	sim
Japão*	1	2	1	1	sim	4	sim
Kasaquistão	2	2	2	2	3	não	7
Letônia*	3	3	3	3	sim	9	sim
Lituânia*	3	3	3	3	sim	9	sim
Luxemburgo*	3	3	3	3	sim	9	sim
Malásia	2	2	2	2	não	6	
Maldivas	3	3	3	3	sim	9	
Malta	3	3	3	3	não	9	
México	2	2	1	2	não	5	
Nicarágua	3	3	3	3	sim	9	
Noruega*	2	2	3	3	sim	8	sim
NovaZelândia*	3	2	3	3	sim	8	sim
Panamá	3	3	3	3	não	9	
Paraguai	3	2	3	3	sim	8	
Peru	3	2	2	3	sim	7	
Polónia*	2	2	2	2	não	6	sim
Portugal*	2	3	2	3	sim	8	sim
ReinoUnido*	1	2	2	2	sim	6	sim
RepúblicaTcheca*	2	3	2	3	não	8	sim
Roménia*	2	2	2	3	sim	7	sim
Rússia*	1	1	1	1	sim	3	sim
Seychelles	3	3	3	3	sim	9	
Suécia*	2	2	3	2	sim	7	sim
Suíça*	2	3	3	3	sim	9	sim
Tailândia	2	2	2	2	não	6	
Turkmenistão	3	2	3	3	não	8	
Ucrânia*	2	2	2	2	não	6	sim
Uruguai	3	3	3	3	sim	9	
Uzbequistão	2	2	2	2	sim	6	
Vietnã	2	2	2	3	não	7	
Zâmbia	3	2	2	3	sim	7	

Tabela 5.4. – Classificação dos países segundo Método de Borda adaptado

5.1.1. Modelo com Emissão de CO2 Original

A análise deste item será realizada, mantendo-se constante o somatório das emissões de CO2 segundo os dados extraídos em GOMES (2003).

Acompanhando a tabela 5.3, coluna “variação %”, temos que dos 64 países analisados, dada a redistribuição de cotas de CO2, ainda é facultado a 41 desses que aumentem sua produção, países com variação positiva. Para os 23 demais é obrigatório que realizem uma redução de sua produção, países com variação negativa. Tendo em vista que o somatório total da variação positiva e negativa dos países é nulo.

	total				Mai
	MU	até 10%	0<x<20	0<x<50	or que 50%
umentar	1	3		4	10
diminuir	3	1			0

Tabela 5.5 Distribuição de DMUs em função de faixas de aumento e diminuição% de CO2

Na tabela 5.5 acima, são estratificadas as divisões dos países que podem aumentar sua produção e daqueles que podem diminuir sua emissão de CO2. A divisão foi realizada em 4 faixas, a primeira de variação até 10%, a segunda de 10% a 20%, a terceira de 20% a 50% e a última com

variação superior a 50%.

É interessante observar que a maioria dos países pode aumentar sua poluição, segundo a divisão de cotas sendo mantida a emissão total de CO₂, e dentre aqueles que devem diminuir, concentram-se em grupo de redução de até 20%. Além disso, embora a alguns países seja permitido aumentar mais do que 50% de sua emissão, a nenhum dos países é solicitado que se diminua mais do que 50% a emissão, o que seria bastante difícil de ser alcançado.

Conforme observado na tabela 5.3 existem apenas 3 DMUs consideradas 100% eficientes segundo a modelagem DEA Híbrida, elas são: Noruega, Zâmbia e Maldivas. A Noruega apresenta tal eficiência em função dos elevados níveis de energia e a comparativa baixa emissão de CO₂, já a Zâmbia é eficiente principalmente pelo baixo valor absoluto de poluição e razoáveis valores de extensão territorial, e por fim as Maldivas por possuir o menor valor de CO₂ e caindo na região VRS de operação do modelo híbrido havia que estar obrigatoriamente sobre a fronteira, ou seja, com 100% de eficiência.

Realizando o mesmo corte da tabela 5.5 apenas para os países pertencentes ao ANEXO I teríamos a divisão apresentada na tabela 5.6 abaixo.

Anexo I	Total DMU	Até 10%	10<x<20	20<x<50	maior que 50%
Aumentar	23	7	2	10	4
Diminuir	11	4	5	2	0

Tabela 5.6 Distribuição de DMUs pertencentes ao Anexo I em função de faixas de aumento e diminuição% de CO₂

Percebe-se que o grupo dos países do Anexo I possui um comportamento relativamente parecido com o grupo total, uma vez que a sua distribuição pelas faixas é aproximadamente semelhante. Este fato, corrobora a idéia de que a questão da gestão das cotas de carbono não devem ficar restritas apenas a estes países, afinal, os 2 grupos de países, aqueles que são do Anexo I e aqueles que não são, tem comportamento homogêneo, não existe uma correlação direta entre o grupo ao qual o país pertence e a condição de bom poluidor e mal poluidor. A eficiência em poluir será o que efetivamente determinará a gestão das cotas.

Seguindo a análise, é interessante observar o “corte de eficiência” que determinará se a DMU terá direito a aumentar a sua participação no mercado de emissões ou se ela terá que reduzi-lo. Importante observar que este ponto é diferente para cada modelo, fosse CRS, VRS ou Híbrido como utilizado aqui. Neste caso, a fronteira está entre 2 países, sendo um o de menor aumento, a Bolívia, que pode aumentar sua participação em apenas 0,026 ton³ e o Panamá que deverá diminuir sua participação em 0,04 ton³. O corte acontece em aproximadamente 38% de eficiência, ou seja, países que possuam eficiência, segundo o modelo híbrido, superior a este valor poderão aumentar sua participação enquanto que os países que possuem eficiência inferior deverão diminuir sua participação.

Dentre as maiores reduções, destaca-se a China (29% de eficiência) e Estados Unidos (37% de eficiência). Conforme pode ser visto na tabela 5.3, a China estaria destinada a reduzir em mais de 196 ton³ a sua emissão de gás dióxido de carbono, o que corresponde a aproximadamente 25% de redução do total produzido. A China apesar de ter elevada população, consumo de energia e extensão territorial, dado o sua excessiva produção de CO₂ encontra-se na região CRS do modelo híbrido, desta forma, sua eficiência com retorno constante de escala é muito baixa (28%), conforme visto na tabela 5.2.

Já os Estados Unidos estariam destinados a reduzir cerca de 28 ton³ que não correspondem a mais do que 2% do total de sua emissão. Os Estados Unidos classificam-se de maneira semelhante a China com elevada população, consumo de energia e extensão territorial, contudo seu consumo de CO₂ não é tão excessivo quando comparado o grau de eficiência alcançado na modelagem Híbrida,

região CRS e sua redução acaba não sendo comparativamente tão grande quanto a estipulada para a China.

Um aspecto semelhante entre os dois países é que se a modelagem utilizada no problema não fosse híbrida, fosse VRS, por exemplo, ambos os países teria direito a produzir ainda mais, pois por possuírem elevados valores em todas as suas variáveis seriam beneficiados pelo mecanismo de retorno crescente de escala.

Ainda é importante destacar, que a China que foi destinada a se comprometer com a maior parte das reduções (65%) segundo as normas do protocolo, por não fazer parte do Anexo I não estaria obrigada a realizar tal redução.

Entre os países que mais foi facultado aumentar a emissão de CO₂ encontram-se França e Brasil. Conforme pode ser visto na tabela 5.3 a França estaria possibilitada a aumentar em mais de 58 ton₃ a sua emissão de gás dióxido de carbono, o que corresponde a aproximadamente 54% de aumento do total produzido. A França possui elevado consumo de energia e razoável população extensão territorial, mesmo com elevada produção de CO₂ e encontrando-se na região CRS do modelo híbrido tem sua eficiência com retorno constante de escala acima do corte (59%), conforme visto na tabela 5.2 e justamente por poluir de maneira eficiente é que lhe é facultada a possibilidade de aumentar suas emissões de CO₂.

O Brasil estaria possibilitado a aumentar em mais de 43 ton₃ a sua emissão de gás dióxido de carbono, o que corresponde a aproximadamente 46% de aumento do total produzido. O Brasil possui elevada população e extensão territorial, razoável consumo de energia, e é um moderado poluidor de CO₂ e encontrando-se na região CRS do modelo híbrido tem sua eficiência com retorno constante de escala acima do corte (55%), conforme visto na tabela 5.2 e justamente por poluir de maneira eficiente é que também lhe é facultada a possibilidade de aumentar suas emissões de CO₂.

Retomando a tabela 5.4, na coluna “soma outputs” o valor encontrado para cada DMU referencia o somatório das classificações encontrados por cada variável de saída. Como por exemplo a DMU Alemanha possui somatório 5 uma vez que tem Area (2) + População (2) + Energia (1). A melhor colocação que uma DMU poderia alcançar seria 3, ou seja, estaria no grupo 1 de todas as variáveis de saída, por outro lado, a pior colocação que uma DMU poderia encontrar seria 9, caso esta estivesse no grupo 3 de todas as variáveis.

O que se pensava a princípio é que países que tivessem menor número de “soma” estariam possibilitados a poluir mais, por possuírem elevados níveis de output, por outro lado, esperava-se que os países com somatório 9 estivessem na listagem dos países que precisam diminuir sua quantidade de emissão de CO₂. Contudo, a análise apenas se torna completa quando se toma em consideração as variáveis de entrada e se entende a relação de produção existente para cada DMU. Desta forma, não se encontrou aquilo que de início se pensava.

Apenas 3 países receberam classificação 3, Estados Unidos, China e Rússia e conforme pode ser visto na tabela 5.4, coluna “Ganha?”, apenas à Rússia é possibilitada aumentar suas emissões, enquanto, como já abordado anteriormente, Estados Unidos e China se vêem obrigados a reduzir suas emissões de CO₂.

Por outro lado, 22 países obtiveram somatório 9. Desses se esperava que tivessem que, todos, reduzir suas emissões, contudo, a verdade é que, pelo modelo, apenas 7 devem reduzi-las enquanto a 15 ainda é facultado que se aumente a emissão de CO₂.

Portanto não se confirmou aquilo que inicialmente se esperava, visto que os países demonstraram comportamento homogêneo quando levada em consideração tal comparação.

5.1.2. Modelo com Emissão de CO₂ Reduzida

No item anterior, foram utilizados os valores das variáveis de cada DMU segundo GOMES (2003), além disso os alvos e a modelagem, não impunham redução no somatório total das emissões, conforme consta nas regras do Protocolo de Kioto EDUCAR (2003), desta forma, apenas foi calculada a redistribuição de cotas segundo os dados de eficiência da Modelagem DEA GSZ

Híbrida.

Cabe, portanto, realizar novamente as contas e a modelagem, propondo, então, um percentual de redução, e conforme observado no protocolo de Kioto, o percentual de redução é de 5%. Não são necessárias grandes mudanças no modelo, uma vez que tendo DEA calculado a redistribuição levando em consideração a eficiência comparativa e sendo o alcance da fronteira do tipo proporcional, as DMUs guardam uma relação de proporcionalidade entre si, que garante que uma redução de 5% do somatório total equivalha a redução de 5% de cada uma das DMUs e que em se fazendo exatamente isso as eficiências de todas as DMUs continuem em 100%.

Desta forma, para calcular as novas emissões para cada DMU basta que se reduza em 5% as novas emissões que haviam sido encontradas após a redistribuição de cotas calculadas no item 5.3.1. Estes cálculos estão descritos na tabela 5.7 na coluna Redução de 5%, que representa justamente o valor da coluna Novo CO2 menos 5%. Interessante observar que alguns países que antes, quando apenas houve a redistribuição, podiam ainda aumentar sua emissão de CO2, neste segundo cenário com a redução de 5% devem realizar uma redução de sua emissão. Estes países estão identificados pela última coluna “Dif Ganha 1 x Ganha 2” quando está escrito “muda”. Países como Alemanha, Bolívia, Guatemala, Nicarágua, Reino Unido, Romênia e Rússia que antes podiam ainda aumentar seu nível de emissão de CO2, neste novo cenário, devem reduzir.

É interessante observar que o “corte de eficiência” que separa os países que deverão reduzir seus níveis de emissão e aqueles que podem aumentá-lo se desloca. Antes estava posicionado em 38% de eficiência entre o Panamá, que já estava obrigado a reduzir, e a Bolívia que possuía a menor cota de aumento. Com o deslocamento, o corte se desloca para 40% aproximadamente e os países que se encontram nesta fronteira são: Nicarágua, que deverá reduzir sua emissão em 0,03 ton3 e Honduras que poderá aumentá-lo em 0,09 ton3

DMUs	CO2	Novo CO2	Ganha?	Redução de 5%	Varição Final	Varição Final %	Ganha 2?	Eficiência pós redistribuição	Dif Ganha 1x Ganha 2
Alemanha*	223,24	227,5856	sim	216,2063	-7,03368	-0,03151	não	0,999999	muda
Argentina	34,85	42,395	sim	40,27525	5,425246	0,155674	sim	0,999999	igual
Austrália*	99,03	79,33786	não	75,37096	-23,659	-0,23891	não	0,999998	igual
Áustria*	18,19	22,50864	sim	21,38321	3,19321	0,175548	sim	1	igual
Bélgica*	39,36	43,95035	sim	41,75283	2,392831	0,060793	sim	1	igual
Bolívia	2,62	2,646588	sim	2,514258	-0,10574	-0,04036	não	0,999999	muda
Brasil	95,77	139,9627	sim	132,9645	37,19453	0,388374	sim	0,999999	igual
Bulgária*	15,48	14,72956	não	13,99308	-1,48692	-0,09605	não	0,999999	igual
Canadá*	156,19	198,8246	sim	188,8833	32,69334	0,209318	sim	0,999999	igual
Chile	14,75	16,86717	sim	16,02382	1,273815	0,08636	sim	0,999999	igual
China	831,74	635,0472	não	603,2949	-228,445	-0,27466	não	0,999997	igual
Coreia do S	120,8	127,7912	sim	121,4017	0,601667	0,004981	sim	0,999999	igual
Costa Rica	1,39	2,497909	sim	2,373014	0,983014	0,707204	sim	0,999524	igual
Croácia*	5,69	6,845772	sim	6,503483	0,813483	0,142967	sim	0,999088	igual
Dinamarca	16,24	14,19759	não	13,48771	-2,75229	-0,16948	não	0,999998	igual
Egito	34,29	34,13637	não	32,42955	-1,86045	-0,05426	não	0,999999	igual
El Salvador	1,53	1,874843	sim	1,781101	0,251101	0,164118	sim	0,999753	igual
Eslováquia	10,83	13,21363	sim	12,55295	1,722953	0,159091	sim	0,998966	igual
Eslovênia*	4,06	4,892174	sim	4,647565	0,587565	0,144721	sim	0,999188	igual
Espanha*	82,72	90,42235	sim	85,90123	3,181232	0,038458	sim	0,999999	igual
Estados Unidos	1565,31	1537,451	não	1460,578	-104,732	-0,06691	não	0,999998	igual
Estônia*	1,94	1,574691	não	1,495956	-0,44404	-0,22889	não	0,999927	igual
Filipinas	18,62	20,28946	sim	19,27499	0,654966	0,035177	sim	0,999999	igual
Finlândia*	14,4	21,02124	sim	19,97018	5,57018	0,386818	sim	0,999831	igual
França*	108,13	166,8398	sim	158,4978	50,36783	0,468808	sim	1	igual
Grécia*	28,08	22,1081	não	21,0027	-7,0773	-0,25204	não	0,999999	igual
Guatemala	2,52	2,578151	sim	2,449243	-0,07076	-0,02808	não	0,999999	muda
Holanda*	67,52	67,04873	não	63,69629	-3,82371	-0,05663	não	0,999998	igual
Honduras	1,27	1,435539	sim	1,363762	0,093762	0,073829	sim	1	igual
Indonésia	87,13	74,49372	não	70,76903	-16,361	-0,18778	não	1	igual
Irlanda*	11,15	9,692868	não	9,208225	-1,94177	-0,17415	não	0,999015	igual
Israel	16,32	12,58107	não	11,95202	-4,36798	-0,26765	não	0,999173	igual
Itália*	121,5	128,6836	sim	122,2494	0,74941	0,006168	sim	0,999999	igual
Japão*	315,63	347,6455	sim	330,2632	14,43322	0,045699	sim	0,999999	igual
Kasaguist	33,37	27,66983	não	26,28634	-7,08366	-0,21228	não	1	igual
Letônia*	2,65	3,316491	sim	3,150667	0,500667	0,188931	sim	0,999355	igual
Lituânia*	4,33	5,265672	sim	5,002388	0,672388	0,155286	sim	0,999162	igual
Luxemburgo	2,47	3,272713	sim	3,109077	0,639077	0,258736	sim	0,999361	igual
Malásia	36,15	36,13635	não	34,32953	-1,82047	-0,05036	não	0,999998	igual
Maldivas	0,13	0,342767	sim	0,325629	0,196629	1,504837	sim	1	igual
Malta	1,07	0,954828	não	0,907087	-0,16291	-0,15226	não	1	igual
México	96,05	95,59511	não	90,81535	-5,23465	-0,0545	não	1	igual
Nicarágua	1,02	1,046832	sim	0,99449	-0,02551	-0,02501	não	0,999999	muda
Noruega*	11,45	30,18988	sim	28,68038	17,23038	1,504837	sim	1	igual
Novas Zelândia	9,61	13,40457	sim	12,73434	3,124344	0,325114	sim	0,999348	igual
Panamá	2,26	2,251019	não	2,138468	-0,12153	-0,05378	não	0,999601	igual
Paraguai	0,96	1,815886	sim	1,725091	0,765091	0,79697	sim	0,999783	igual
Peru	7,18	8,659524	sim	8,416548	1,236548	0,172221	sim	0,999999	igual
Polónia*	78,61	56,17893	não	53,36998	-25,24	-0,32108	não	1	igual
Portugal*	16,25	17,27829	sim	16,41438	0,164379	0,010116	sim	0,999999	igual
Reino Unido	154,33	155,5857	sim	147,8064	-6,52361	-0,04227	não	0,999998	muda
República	29,01	24,28008	não	23,06608	-5,94392	-0,20489	não	0,999999	igual
Romênia*	25,97	26,04414	sim	24,74194	-1,22806	-0,04729	não	1	muda
Rússia*	440,26	447,5973	sim	425,2175	-15,0425	-0,03417	não	1	muda
Seychelles*	0,17	0,365802	sim	0,347512	0,177512	1,044187	sim	0,999999	igual
Suécia*	14,58	35,20106	sim	33,441	18,861	1,293622	sim	0,999999	igual
Suíça*	12,27	20,68787	sim	19,65348	7,38348	0,601751	sim	0,999999	igual
Tailândia	48,49	46,31444	não	43,99872	-4,49128	-0,09262	não	1	igual
Turkmenist	7,68	7,606044	não	7,225742	-0,45426	-0,05915	não	0,99935	igual
Ucrânia*	96,58	96,43786	não	91,61596	-4,96404	-0,0514	não	0,999998	igual
Uruguai	1,69	2,549752	sim	2,422265	0,732265	0,433293	sim	0,99951	igual
Uzbequist	30,16	32,98325	sim	31,33409	1,174091	0,038929	sim	1	igual
Vietnã*	12,56	12,48134	não	11,85727	-0,70237	-0,05595	não	0,999999	igual
Zâmbia	0,56	1,476536	sim	1,402709	0,842709	1,504837	sim	1	igual

Tabela 5.7 Dados com redistribuição e redução de emissão de 5%

Como pôde ser visto, embora tenha se utilizado o alvo de redução de 5%, qualquer valor poderia ter sido facilmente calculado, fosse um corte maior de emissão ou um cenário de aumento, que por exemplo poderia acontecer num país internamente. Poder-se-ia pensar em um caso no qual o país tenha que reduzir sua cota de emissão, mas que este tome a iniciativa de internamente permitir que seus Estados mais eficientes possam aumentar sua emissão e Estados menos eficientes

devam diminuir sua emissão.

6. CONCLUSÕES

A modelagem DEA GSZ Híbrida utilizada, inicialmente com retornos variáveis de escala na primeira região e retornos constantes de escala na segunda região, se mostrou adequada ao que se desejava que era garantir que na gestão de cotas, países que eram grandes poluidores, como China e Estados Unidos, e que numa modelagem VRS teriam direito a aumentar sua emissão, na modelagem Híbrida se viram obrigados a reduzir os níveis de emissão de CO₂ alcançados. Por outro lado, esta abordagem também permitiu que países que possuíam pequenos valores de produção não fossem penalizados por tal.

Foi possível conhecer a eficiência DEA GSZ Híbrida dos países, sua participação permitida no comércio de emissão de carbono e calcular qual a variação que cada um deles está sujeito a realizar, tanto para o caso em que se mantém o total de emissões, quanto para o caso que se deseja diminuir o somatório total de emissões por algum valor percentual, conforme enunciado na literatura do Protocolo de Kioto.

Observou-se que não é privilégio dos países que não estão no Anexo I poderem emitir mais CO₂, assim como não se mostrou obrigatório que todos os países do Anexo I fossem obrigados a diminuir sua emissão, ao contrário, países de ambos os grupos tiveram comportamento bastantes heterogêneos.

O modelo DEA GSZ Híbrido criado para tratar o problema possui uma abordagem mais justa, pois, ao contrário do que propõe, as normas do protocolo de Kioto, que sugere corte por um percentual linear, o modelo garante que os países realizem políticas particulares de desenvolvimento, pois caso a caso, faceia o desempenho de cada país em relação ao grupo e determina como este deverá se comportar quanto aos níveis de emissão de CO₂ finais

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] BELISÁRIO, R., 2002, **34 anos de negociações: das boas intenções à fria realidade**. Disponível em: <<http://www.comciencia.br/reportagens/clima/clima03.htm>>. Acesso em: 10 out 2004
- [2] COOPER, W, SEIFORD L, TONE K. **Data Envelopment Analysis – A comprehensive Text with Models, Applications, References and DEA-Solver Software**. ed 1, Massachusetts, Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [3] EDUCAR 2003,28 de outubro de 2004.
<http://educar.sc.usp.br/licenciatura/2003/ee/Aquecimento11.html>
- [4] GOMES, E.G. **Modelos de Análise de Envoltória de Dados com Ganhos de Soma Zero**. Tese de Doutorado, Programa de Engenharia de Produção, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2003.
- [5] SOARES DE MELLO, J.C.C.B., GOMES, E.G., SOARES DE MELLO, M.H.C., ESTELLITA LINS, M.P., **Método Multicritério para Seleção de Variáveis em modelos DEA**, Revista Pesquisa Naval, v. 15, pp. 55-66, 2002.