

trabalhos futuros, um programa que apresente gráficos e tabelas do inventário pode ser construído.

¹ MME, Balanço Energético Nacional 2003

² Carlos Feu Alvim et al. (relatório do projeto)

³ Coordenação-Geral de Mudanças Globais de Clima – MCT “Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção das Nações Unidas, Brasília Novembro de 2004

⁴ COPPE – UFRJ MCT Primeiro Inventário de Emissões Antrópicas de Gases de Efeito Estufa – Relatório de Referência – Emissões de Carbono Derivadas do Sistema Energético – Abordagem TopDown MCT 2002

⁵ IPCC, 1996. *Greenhouse Gas Inventory Reporting Instructions - Revised IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories*, Vol 1, 2, 3, IPCC, IEA, OECD.



Economia e Energia – <http://ecen.com>

No 48: Fevereiro-Março 2005

ISSN 1518-2932

Versão em Inglês e Português também disponível

bimensalmente em: <http://ecen.com>

Editorial:

Entrada em Vigor do Protocolo de Quioto

Este número é inteiramente dedicado à análise das emissões de carbono na atmosfera que, como se sabe, são as maiores causadoras do aquecimento global. Seu lançamento coincide com a entrada em vigor do Protocolo de Quioto, em 16 de fevereiro de 2005 que visa conter o aquecimento da Terra pelo efeito estufa.

Texto para Discussão:

Estimativa do Teor de Carbono no Gás Natural Seco Usando-se a Diferença entre os Poderes Caloríficos Superior e Inferior

A diferença entre os poderes caloríficos superior e inferior possibilitam estimar a água formada no processo de combustão. Como consequência, pode-se estimar o conteúdo de hidrogênio e de carbono dos hidrocarbonetos. A metodologia é testada para o Gás Natural.

Artigo:

O Balanço de Carbono na Produção, Transformação e Uso de Energia no Brasil – Metodologia e Resultados no Processo “Top-Bottom” para 1970 a 2002.

O Projeto Balanço de Carbono, conduzindo pela **e&e – ONG**, tem como objeto fornecer um instrumento para elaborar o balanço de carbono na produção, transformação e uso de energia no Brasil e o contido nas emissões de gases causadoras de efeito estufa e sua divulgação na forma eletrônica e em relatório escrito. O objetivo é detectar – através aplicação simultânea das técnicas denominadas “Top-Down” e “Bottom-Up” – as possíveis omissões em um dos dois enfoques

O trabalho atual, realizado em convênio com o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), se concentrou na elaboração da metodologia e no diagnóstico dos desvios encontrados; entretanto já permite obter resultados confiáveis para o período 1970 a 2002.

O primeiro passo é usar a extensão do modelo “Top-Down” a todas as linhas do balanço energético no que poderia se chamar de processo “Top-Bottom” cujos resultados são apresentados

Editorial:

ENTRADA EM VIGOR DO PROTOCOLO DE QUIOTO

O Protocolo entrou em vigor em 16 de Fevereiro de 2005 entra em vigor sem a participação dos Estados Unidos, que se negaram a ratificá-lo o que limita muito seu alcance tendo em vista sua grande responsabilidade nas emissões atuais e passadas e seu papel na liderança mundial. Estima-se que os EUA emitem cerca de 40% dos gases causadores de efeito estufa no conjunto dos países industrializados e 21% ao nível mundial, sua contribuição histórica é ainda maior já que a absorção do CO₂ na atmosfera é muito lenta e aquele país, há muito, lidera as emissões desses gases.

O Brasil entregou, ao final do ano passado, um inventário de suas emissões para o período de 1990 a 1994. A publicação deste documento é um importante passo na participação do Brasil – cuja matriz energética é uma das mais limpas no mundo – nos esforços para evitar o agravamento do aquecimento global.

Economia & Energia – a Revista e a Organização – tem o prazer de registrar sua participação neste esforço que teve a coordenação técnica de José Domingos Miguez, nosso colaborador eventual.

E *e&e* tem ainda a honra de contar entre seus colaboradores participantes importantes do esforço internacional para estabelecimento do Protocolo como é o caso dos professores José Goldemberg (Presidente do Conselho da ONG) e José Israel Vargas que tiveram papéis destacados na Conferência do Rio sobre Meio Ambiente e na de Quioto que estabeleceu o Protocolo e que continuam atuantes na área.

Tendo em vista sua baixa responsabilidade neste fenômeno e a seu nível de desenvolvimento o Brasil não está obrigado, no momento, a conter essas emissões. O Protocolo contempla, no entanto, a possibilidade do país participar do esforço mundial obtendo apoio para medidas que reduzam as emissões mundiais que integrariam o “crédito em carbono” de outros países que financiariam este esforço.

A razão para esses países realizarem esse esforço aqui e não nos respectivos territórios é de natureza econômica. Por igual razão é conveniente que o Brasil esteja atento às conseqüências econômicas das medidas que aqui se implante.

Uma análise séria do “Impacto Econômico e Social” de cada um dos projetos e de do conjunto deles é indispensável. Não é difícil prever, por exemplo, que uma operação de crédito de carbono imobilize o uso de terras e com isto reduza ou desloque a produção de alimentos. Isto é tanto mais provável quando estariam competindo duas atividades econômicas: na primeira existiria um subsídio externo que não existe para a segunda. A conseqüência poderia ser a redução ou o encarecimento da produção de alimentos.

Tabela 10: comparação das Emissões de CO₂ em Gg/ano para o Brasil deste trabalho com as do inventário

	FÓSSEIS	RENOVÁVEIS	TOTAL	FÓSSEIS COPPE/MCT 2002	BIOMASSA COPPE/MCT 2002	TOTAL
1990	198535	189462	387998	202910	190575	393485
1991	209567	187242	396809	213220	188221	401441
1992	213726	183505	397231	217466	184521	401987
1993	222705	181714	404419	226369	181676	408045
1994	232805	191832	424637	236599	192636	429235

CO₂ emitido no Uso e Transformação de Energia no Brasil (Metodologia "Top-Down")

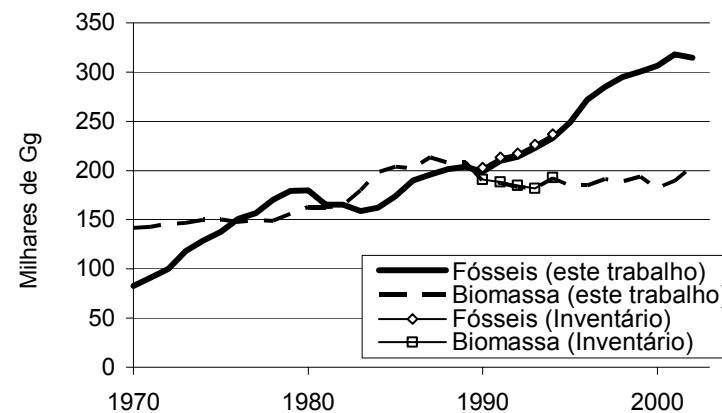


Figura 4: Emissões de CO₂ obtidos pela metodologia “Top-Down” adaptada ao formato das saídas do programa.

A concordância entre os dados aqui obtidos e os do inventário (para os anos disponíveis) é muito boa. Deve-se assinalar que a rotina de cálculo do programa é inteiramente equivalente à do IPCC, como foi demonstrado na Tabela 5. As pequenas diferenças observadas devem ser atribuídas aos valores do poder calorífico inferior que, nesta aproximação, são os adotados pelo BEN e que não estavam disponíveis na elaboração do inventário; também existem pequenas dúvidas quanto à alocação de energias em relação à metodologia do IPCC. O programa desenvolvido é, pois, um poderoso instrumento para avaliação de balanços passados e de projeção. Também pode ser de grande utilidade na apuração de inventários de países que ainda não o fizeram. Em

Tabela 9: Emissões de CO2 em Gg/ano para o Brasil

	PETROLEO E DERIVADOS	GAS NATURAL	CARV. MIN. E DERIV.	FÓSSEIS	RENOVÁVEIS	TOTAL
1970	72791	446	9194	82431	141858	224289
1971	81301	683	9242	91226	142808	234034
1972	89688	746	9852	100285	146324	246609
1973	107707	825	9669	118201	146755	264956
1974	117036	1250	10313	128600	149609	278208
1975	123971	1384	12233	137588	150235	287822
1976	136228	1504	12848	150580	147486	298067
1977	138041	1837	16635	156513	149824	306337
1978	149109	2071	19166	170346	148686	319032
1979	156267	2126	20808	179201	155524	334724
1980	154679	2364	22643	179686	162572	342258
1981	141174	2363	21882	165419	162582	328001
1982	138927	3104	23197	165229	164015	329243
1983	128752	4093	26078	158923	179750	338673
1984	124748	5267	32189	162204	198142	360346
1985	129022	6519	38152	173693	203967	377661
1986	143596	7669	38536	189801	202281	392082
1987	145835	8744	41073	195651	213061	408713
1988	149870	9127	42377	201374	208044	409418
1989	152165	9570	42000	203735	208180	411915
1990	151811	9952	36772	198535	189462	387998
1991	156905	9984	42678	209567	187242	396809
1992	161499	10541	41686	213726	183505	397231
1993	168236	11337	43133	222705	181714	404419
1994	176707	11681	44416	232805	191832	424637
1995	189157	12500	47050	248708	184746	433454
1996	209249	13820	48673	271743	184568	456311
1997	219838	15646	49315	284798	191153	475951
1998	230133	16230	48503	294865	189000	483865
1999	232841	18234	49435	300510	193589	494099
2000	229368	24250	52952	306570	181548	488118
2001	235948	29643	52200	317791	189149	506940
2002	228203	35179	51218	314601	203571	518172

Texto para Discussão:

ESTIMATIVA DO TEOR DE CARBONO NO GÁS NATURAL SECO USANDO-SE A DIFERENÇA ENTRE OS PODERES CALORÍFICOS SUPERIOR E INFERIOR

Omar Campos Ferreira.

A equipe de Economia e Energia – ONG vem desenvolvendo métodos de determinação do teor de carbono em combustíveis como parte dos trabalhos de suporte à Coordenação Geral de Mudanças Climáticas do Ministério da Ciência e Tecnologia no levantamento do inventário de carbono atmosférico. O tema é de relevância para o posicionamento do Brasil em relação ao Protocolo de Quioto, visto que a proposta de estabelecimento de mecanismos de desenvolvimento limpo foi uma iniciativa da Delegação Brasileira à Conferência de Quioto.

A matriz energética brasileira é uma das mais limpas do mundo, tanto no que se refere à emissão de poluentes químicos (CO, hidrocarbonetos não queimados, SOx, NOx, etc...) quanto à emissão de gases de efeito estufa (CO2, HC, NMOCV'si), havendo dúvida apenas quanto à emissão de metano. Essa qualidade da matriz é consequência do uso da hidroeletricidade e dos combustíveis da biomassa e pode gerar efeitos econômicos de importância para o Setor Energético com a entrada em vigor do Protocolo. Com sua entrada em vigor, o Brasil pode vender créditos de carbono para países que, por algum motivo, não possam reduzir seu nível de emissão aos de 1991. A posição dos EUA é contrária à implementação dos Mecanismos de Desenvolvimento Limpo por temerem a estagnação de suas economias, visto que os combustíveis fósseis representam a maior contribuição para a conversão de energia.

O objetivo específico dos trabalhos em curso é a monitoração das informações oficiais sobre o teor de carbono nos produtos dos Centros de Transformação (refinarias de petróleo, usinas de gaseificação, centrais elétricas, coquearias e destilarias) usando os balanços de massa/energia, as especificações legais desses combustíveis e os respectivos poderes caloríficos superior e inferior, verificando a coerência desses dados através das propriedades físico-químicas dos componentes das misturas combustíveis. Na edição nº 43 da revista "Economia&Energia" em suas formas impressa e eletrônica (<http://ecen.com>), propusemos um método expedito de determinação do teor de carbono e exemplificamos sua aplicação para o petróleo bruto e para a gasolina automotiva, avaliando em 6% a incerteza típica do método. Essa aproximação foi atribuída à incerteza na especificação dos

ⁱ Não Metano e Outros Compostos Voláteis.

combustíveis e nas medições de campo, em geral maiores do que as incertezas nos dados retirados de publicações técnicas. Entretanto, há outras fontes de incertezas, estas sistemáticas, relacionadas com diferentes interpretações da definição do poder calorífico inferior ou, até mesmo, da mudança, explicitada ou não, do estado físico de referência.

Uma compilação das definições usuais mostra que os textos de Termodinâmica mais antigos definem o poder calorífico inferior como a diferença entre o poder calorífico superior e o calor latente de condensação do vapor d'água ($L=539$ kcal/kg) que se forma na combustão, o que equivale a considerar como estado de referência o da mistura dos produtos da combustão a 100°C e 1 atm, estando o vapor d'água condensado. Outros autores, considerando que o combustível esteja inicialmente a 25°C e à pressão de 1 atm, deduzem do poder calorífico superior o calor latente de condensação e o calor sensível de resfriamento dos produtos da combustão à temperatura original do combustível; neste caso, atribuindo aos gases da combustão o calor específico médio, entre 100°C e 25°C , e supondo a composição estequiométrica da mistura (combustível + ar) é necessário levar em consideração o teor de hidrogênio do combustível original para se obter as massas de vapor d'água e de outros gases presentes como produtos de combustão, o que tornaria o método dos poderes caloríficos menos expedito.

Assim, a verificação ora proposta representa uma avaliação da influência de todos esses fatores sobre o resultado do cálculo expedito do teor de carbono que, da mesma forma que outros cálculos expeditos, pode ser usado como primeira aproximação, visto que a concentração de gases de efeito estufa na atmosfera não decorre simplesmente da emissão calculada desses gases, pois a Biosfera tem mecanismos de redução da concentração ainda não bem conhecidos.

Entretanto a aplicação do método para o gás natural usando dados do Balanço Energético Nacional de 2002 não deu resultados consistentes com os de outras publicações técnicas, dentro da margem de incerteza avaliada para os casos exemplificados, lançando dúvidas quanto à validade do método. Procuramos, neste trabalho, esclarecer essas dúvidas aplicando o método ao gás natural seco (ou processado, conforme diversa nomenclatura), verificando a cada passo a consistência dos dados.

Os dados sobre o gás processado na UPGN de Candeias foram obtidos no portal www.gasenergia.com.br, constando na página principal a informação de que o portal tem o patrocínio e a supervisão da PETROBRÁS.

Roteiro da verificação.

1 - Conversão dos dados de composição volumétrica para composição em massa;

Tabela 8: Comparação de Resultados de Emissões Líquidas de C (Gg/ano)

	FÓSSEIS	ENOVÁVEIS	TOTAL	FÓSSEIS COPPE/MCT 2002	BIOMASSA COPPE/MCT 2002	TOTAL
1990	54789	57799	112588	55994	58264	114258
1991	57845	57069	114914	58851	57499	116350
1992	58986	55913	114899	60016	56367	116383
1993	61463	55319	116782	62472	55781	118253
1994	64248	58408	122656	65294	58789	124083

A fração do carbono oxidado (que gera o CO_2 diretamente ou por degradação de outros compostos na atmosfera) varia segundo o combustível. Na metodologia adotada ("Top-Down") esta correção é feita pela multiplicação de um fator sugerido pelo IPCC. Em dois casos (lenha na fabricação de carvão x lenha na queima direta e gás natural seco x líquidos de gás natural) existem coeficientes específicos. A partir da massa de carbono envolvida na transformação pode-se deduzir a participação da lenha de carvoejamento e do gás natural seco no consumo. A fração oxidada para a lenha e o carvão mineral pode ser obtida, sendo o complemento lançado para a outra aplicação de cada energético. Usando a participação do consumo do gás natural úmido (matéria prima) como gás seco (no exemplo com participação de 71,1% e 99,5% de oxidação) e o complemento do consumo como líquido de gás natural (28,9% com 99% de oxidação), estima-se um coeficiente médio para a lenha e o gás natural úmido, que é a média proporcional entre os dois coeficientes originais. Este coeficiente é recalculado a cada ano com auxílio das participações.viii

A Tabela 9 reúne os resultados anuais, obtidos aqui, por fonte primária e para a biomassa. Os resultados também são comparados com os valores do inventário nacional na Tabela 10 .

viii Dentro das margens de erro de uma avaliação como a das emissões, seria aceitável o uso do mesmo coeficiente para todos os anos. Na montagem da metodologia adotada aqui procurou-se, no entanto, que ela fosse completamente equivalente à do IPCC e um coeficiente anual foi calculado para cada ano para os dois energéticos.

Tabela 7: Emissões Líquidas em Gg/ano de Carbono

	PETROLEO E DERIVADOS	GAS NATURAL	CARV. MIN. E DERIV.	FÓSSEIS	ENOVÁVEIS	TOTAL
1970	20053	122	2560	22735	44268	67003
1971	22397	188	2573	25158	44544	69701
1972	24707	205	2742	27655	45605	73260
1973	29671	227	2691	32590	45730	78319
1974	32241	343	2871	35456	46589	82045
1975	34152	380	3405	37937	46756	84693
1976	37528	413	3577	41518	45898	87416
1977	38028	504	4630	43162	46565	89727
1978	41077	569	5335	46980	46122	93103
1979	43049	584	5792	49424	48137	97561
1980	42611	649	6303	49563	50232	99795
1981	38891	649	6091	45631	50223	95854
1982	38272	852	6457	45581	50558	96139
1983	35469	1124	7259	43852	55284	99136
1984	34366	1446	8960	44772	60854	105626
1985	35543	1790	10620	47953	62520	110473
1986	39558	2105	10727	52390	61888	114278
1987	40175	2400	11432	54007	65164	119170
1988	41287	2506	11794	55587	63570	119156
1989	41919	2628	11689	56236	63565	119801
1990	41821	2733	10235	54789	57799	112588
1991	43224	2742	11878	57845	57069	114914
1992	44490	2894	11602	58986	55913	114899
1993	46346	3113	12004	61463	55319	116782
1994	48680	3207	12362	64248	58408	122656
1995	52109	3432	13095	68636	56216	124852
1996	57644	3794	13547	74985	56114	131099
1997	60561	4295	13726	78582	58139	136721
1998	63397	4455	13500	81352	57510	138862
1999	64144	5006	13759	82908	58896	141804
2000	63187	6658	14738	84583	55218	139801
2001	64999	8141	14528	87669	57583	145252
2002	62866	9661	14255	86782	61984	148766

2 - Cálculo dos poderes caloríficos superior/inferior, da massa específica e da densidade da mistura em relação ao ar, usando os dados do “Chemical Engineers’ Handbook”, ed. Mc Graw-Hill, 1973 para as propriedades físico-químicas das substâncias contidas no GN.

3 - Cálculo do teor de carbono do GN e confronto com o dado do IPCCii.

Tabela 1 – Composição do GN processado de Candeias.

Substância	Fração em volume	Massa específica kg/m ³ *	Massa por m ³ do GN - kg	Fração em massa
Metano	0,8856	0,714	0,632	0,800
Etano	0,0917	1,339	0,123	0,155
Propano	0,0042	1,964	0,008	0,010
N ₂	0,0120	1,254	0,015	0,019
CO ₂	0,0065	1,964	0,013	0,016
Soma	1,000	-	0,791	-

*Cálculo pela massa molecular.

Densidade relativa ao ar: $0,791/1,293 = 0,612$.

Densidade UPGN = 0,61.

Diferença relativa $0,002/0,612 = 0,03$ (0,3 %).

Tabela 2 – Poderes caloríficos.

Substância	Fração da massa*	PCS kcal/kg	PCI kcal/kg
Metano	0,800	13265	11954
Etano	0,155	12399	11350
Propano	0,010	12034	11079
N ₂	0,019	0	0
CO ₂	0,016	0	0
GN seco	1,000	12650	11430

* Tabela anterior

PCS calculado = $12650 \text{ kcal/kg} = 10010 \text{ kcal/m}^3$

PCS UPGN = $12070 \text{ Kca/kg} = 9549 \text{ kcal/m}^3$

Diferença relativa = 0,048 (4,8%)

PCI calculado = $11430 \text{ kcal/kg} = 9041 \text{ kcal/m}^3$

PCI UPGN = $10090 \text{ kcal/kg} = 8621 \text{ kcal/m}^3$

Diferença relativa = 0,049 (4,9%)

ii International Panel on Climate Change.

Tabela 3 – Teor de carbono calculado pela composição da mistura.

Substância	Fração da massa	Teor de carbono
Metano	0,800	0,750
Etano	0,155	0,800
Propano	0,010	0,818
N ₂	0,019	0
CO ₂	0,016	0,273
GN seco	1,000	0,737

Tabela 4 – Teor de carbono calculado pelos poderes caloríficos da UPGN..

PCS – PCI		Massa de água/kg _{GN}		Teor de hidrogênio		Teor C = 1 – teor H ₂	
		L ₁ =540	L ₂ =615	L ₁	L ₂	L ₁	L ₂
Calculado	1220	2,26	1,98	0,251	0,220	0,749	0,780
Observado	1170	2,17	1,90	0,241	0,211	0,759	0,789

Notas: L₁ é o calor de condensação do vapor d'água a 100°C e 1 atm. L₂ é a soma de L₁ com o calor sensível de resfriamento dos produtos da combustão a 25°C e 1 atm. Todos os calores referidos à unidade de massa (kcal/kg) da respectiva substância.

Conclusões.

A maior diferença relativa entre os resultados dos cálculos do teor de carbono pela composição do combustível e pela diferença entre os poderes caloríficos superior e inferior é de 0,07 (7%), que não difere substancialmente da diferença relativa avaliada para os casos do petróleo e da gasolina automotiva (6%) é menor do que a incerteza relativa no poder calorífico superior do gás natural processado (8,6%).

Para situar nossos cálculos em relação aos valores divulgados pelo IPCC, tomamos o resultado que apresenta a maior diferença em relação ao teor de carbono calculado pela composição do GN (0,789, na tabela 4) e calculamos a massa de carbono, em tonelada, correspondente a 1 TJ de calor liberado.

$$1 \text{ TJ} = 1012 \text{ J} = 0,239 \times 1012 \text{ cal.}$$

$$\text{Massa de GN que libera 1 TJ na combustão completa} = 0,239 \times 1012 \text{ cal} / 12 \times 109 \text{ cal/tGN} = 19,9 \text{ tGN} = 19,9 \times 0,789 = 15,7 \text{ tc /TJ.}$$

O valor divulgado pelo IPCC é de 15,5 tc / TJ.

Creemos, pois, que o método expedito parece confiável dentro da precisão usada na apuração de balanços de carbono. Além disto, ele possibilita levar em conta diferenças entre os combustíveis de procedências diferentes e, no caso do Brasil, levar em conta as diferenças de especificação dos combustíveis ao longo dos anos.

Tabela 6: Exemplo de Cálculo das Emissões de CO₂ usando Linhas de Saída do Programa

	OFERTA INTERNA BRUTA (a)	TOTAL TRANSFORMAÇÃO (b)	CONSUMO FINAL NÃO ENERGÉTICO (c)	Coefficiente de Retenção (d)	Coefficiente de Oxidação (e)	Carbono Retido (f=cxd)	Emissões Líquidas de Carbono ^(g=a-f)	Emissões de Carbono (h=gxe)	Emissões de CO ₂ (i=hx44/12)
PETROLEO	52726	-54326	0	0,00	0,99	0	52726	52198	191394
GAS NAT UMIDO	3478	-3426	0	0,00	0,994	0	3478	3456	12670
GAS NAT SECO	-63	2437	630	0,33	0,995	208	-271	-270	-989
CARVAO VAPOR	2126	-1188	0	0,00	0,98	0	2126	2083	7639
CARVAO MET.NAC.	82	-82	0	0,00	0,98	0	82	81	296
CARVAO MET.IMP.	8937	-8609	0	0,00	0,98	0	8937	8758	32113
OUTRAS NAO REN.	0	0	0	0,00	0	0	0	0	0
LENHA	31108	-13883	0	0,00	0,880	0	31108	27356	100305
CALDO DE CANA	4970	-4970	0	0,00	0,99	0	4970	4920	18040
MELACO	884	-884	0	0,00	0,99	0	884	875	3207
BAGACO DE CANA	18794	-590	0	0,00	0,88	0	18794	16539	60642
LIXIVIA	1828	-351	0	0,00	0,99	0	1828	1809	6634
OUTRAS RECUPER.	687	-315	0	0,00	0,994	0	687	683	2504
OLEO DIESEL	1554	18737	0	0,00	0,99	0	1554	1538	5641
OLEO COMBUST.	114	10023	0	0,00	0,99	0	114	113	414
GASOLINA	-1710	9461	0	0,00	0,99	0	-1710	-1693	-6206
GLP	1401	3273	0	0,00	0,99	0	1401	1387	5084
NAFTA	1944	3403	5136	0,00	0,99	4108	-2165	-2143	-7859
QUEROS. ILLUM.	-3	111	26	0,80	0,99	26	-29	-28	-104
QUEROS. AVIACAO	-214	1929	0	1,00	0,99	0	-214	-211	-775
GAS DE REFIN.	-67	1810	166	0,00	0,99	166	-233	-231	-846
COQUE PETROLEO	-19	636	0	1,00	0,99	0	-19	-19	-69
OUT.EN. PETROLEO	0	649	0	0,00	0,99	0	0	0	0
GAS CIDADE	0	140	0	1,00	0,99	0	0	0	0
COQUE CARV.MIN	1322	7301	0	0,00	0,99	0	1322	1295	4749
GAS DE COQUERIA	-41	1196	0	0,00	0,98	0	-41	-41	-149
OUT.SEC. ALCATRAO	0	231	64	0,00	0,99	64	-64	-63	-231
CARVAO VEGETAL	-2	3440	0	1,00	0,99	0	-2	-2	-7
ALCOOL ANIDRO	150	926	41	0,00	0,99	41	109	107	394
ALCOOL HIDRAT.	323	3069	292	1,00	0,99	292	31	31	112
ASFALTOS	-22	1186	1176	1,00	0,99	1176	-1198	-1186	-4349
LUBRIFICANTES	-24	599	535	1,00	0,99	535	-559	-553	-2029
SOLVENTES	29	285	297	1,00	0,99	297	-268	-265	-973
OUT.NAO EN.PET.	16	710	736	1,00	0,99	736	-721	-714	-2616
PET. E GN e deriv	2999	52951	8073	1,00	0,99	7253	-4254	51379	188388
CARV. MIN. E DERIV.	12426	-1152	64	0,00		64	12362	12114	44416
FÓSSEIS	15425	51799	8136	0,00		7317	8107	63492	232805
RENOVÁVEIS	58742	-13557	334	0,00		334	58408	52318	191831
TOTAL	130307	-17072	9100	0,00		7651	122656	115810	424636

Para evitar dupla contagem, são contabilizadas as matérias primas produzidas ou importadas bem como os derivados exportados ou importados; as transformações (de energia primária em secundária) realizadas no país não devem ser levadas em conta, já que o carbono foi computado na matéria prima.

O conceito de oferta interna bruta corresponde justamente ao adotado na metodologia do IPCC, sendo, inclusive, contabilizadas da mesma forma as variações de estoque e a reinjeção. Também ela exclui as perdas na produção que, todavia, podem ser avaliadas a partir da planilha gerada pelo programa *ben_ee*.

O carbono retido, contabilizado na metodologia “Top Down”, é o correspondente ao uso não energético. Nesse tipo de uso nem sempre há retenção do carbono e a metodologia do IPCC recomenda o emprego de alguns coeficientes (percentuais em massa) para levar em conta a emissão que pode verificar-se por evaporação natural (e posterior conversão em CO₂ na atmosfera) ou pela queima ou degradação de rejeitos. Quando eles não são fornecidos, pode-se usar um coeficiente avaliado com base nas informações disponíveis. No caso presente, optou-se por repetir, quando possível, os valores considerados no trabalho da COPPE/MCT já mencionado. Os valores usados no trabalho de referência foram: 0,8 para nafta, 0,5 para lubrificantes, 0,75 para o alcatrão e 0,33 para o gás natural seco. Para outros compostos foi adotado o valor 1 (todo carbono retido). Na Tabela 5, o processo de cálculo é ilustrado para o ano de 1994.^{vii}

Na Tabela 7, as emissões líquidas (conteúdo de carbono – carbono retido) são mostradas para os demais anos, discriminadas entre combustíveis fósseis e a biomassa. Os valores calculados para o inventário nacional são também comparados com os aqui obtidos na Tabela 8.

Artigo:

O BALANÇO DE CARBONO NA PRODUÇÃO, TRANSFORMAÇÃO E USO DE ENERGIA NO BRASIL– METODOLOGIA E RESULTADOS NO PROCESSO “TOP- BOTTOM” PARA 1970 A 2002.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	7
1. O Projeto Balanço de Carbono.....	8
2. Metodologia	9
3. O Conteúdo de Carbono nos Energéticos.....	10
Apuração do Teor de Carbono	12
Resultados para o Carbono Contido.....	13
Avaliação das Emissões entre 1970 e 2002 ou o Uso do Processo “Top-Bottom”	17

Equipe Técnica:

Carlos Feu Alvim (coordenador)

Frida Eidelman

Omar Campos Ferreira

^{vii} No entender dos autores deste trabalho, o uso de valores unitários usados (retenção de 100%) merece revisão, principalmente para produtos voláteis como álcool e solventes.

1. O Projeto Balanço de Carbono

O Projeto Balanço de Carbono da ONG “Economia e Energia” – Mantenedora desta Revista - tem como objeto fornecer um instrumento para elaborar balanço de carbono na produção, transformação e uso de energia no Brasil e o contido nas emissões de gases causadoras de efeito estufa e sua divulgação na forma eletrônica e em relatório escrito.

O objetivo é detectar – através aplicação simultânea das técnicas denominadas “Top-Down” e “Bottom-Up” – as possíveis omissões em um dos dois enfoques que podem advir de incoerências entre os coeficientes usados ou imperfeições na apuração das emissões. O princípio usado é que os átomos de carbono não desaparecem no processo do uso energético dos combustíveis e, em cada fase do processo, a quantidade de carbono (massa contida) original deve ser encontrada sob a forma de emissões ou capturada por algum processo.

O trabalho atual, realizado em convênio com o Ministério da Ciência e Tecnologia (MCT), se concentrou na elaboração da metodologia e no diagnóstico dos desvios encontrados. Na conclusão deste relatório, serão apresentadas sugestões para tratar os problemas identificados e estabelecer um balanço coerente. Deste modo, as correções necessárias ficarão para uma fase posterior.

A comparação realizada com os dados do Inventário, mostram que essas correções – principalmente no processo “Top-Down” – não são quantitativamente relevantes. Como conseqüência, é possível obter as emissões entre 1970 a 2002 com precisão equivalente às do Inventário Brasileiro.

O Relatório Final foi entregue ao Ministério de Ciência e Tecnologia – MCT e encontram-se à disposição dos leitores da e&e no seu endereço eletrônico <http://ecen.com>. Este artigo expõe alguns resultados alcançados de uma forma resumida. Outros resultados serão apresentados em outros números desta revista.

O período abordado é de 1970 a 2002 correspondendo ao dos dados disponíveis, no período de execução do projeto, do Balanço Energético Nacional (BEN), editado pelo Ministério de Minas e Energia¹, cujos dados servem de base para o presente relatório.

Cálculo das Emissões usando Método “Top-Down” do IPCC (continuação)

	Carbono Contido			Emissões Líquidas de Carbono			Emissões de CO ₂			
	Valores em Gg/ano	COPPE/MCT	Este Trabalho	Desvio	COPPE/MCT	Este Trabalho	COPPE/MCT	Este Trabalho	Desvio	
Biomassa Sólida										
Lenha Carvoejamento	13907	13883	13883	-0,2%	12392	13883	13744	45813	45436	-0,8%
Bagaço de Cana	18837	18794	18794	-0,8%	16665	18794	16539	60642	61104	0,8%
Resíduos Vegetais	812	812	812	-0,0%	714	812	812	2504	2619	4,4%
Carvão Vegetal	4	4	4	0,0%	-3	-2	-2	-7	-12	39,5%
Biomassa Sólida - total	51273	50688	50688	-1,4%	45097	50688	48017	165796	166357	-0,3%
Biomassa Líquida										
Caldo de Cana	4762	4970	4970	4,2%	4715	4970	4920	18040	17287	-4,4%
Melapo	902	884	884	-2,1%	893	884	875	3207	3275	2,1%
Álcool Anidro	150	150	150	0,0%	108	109	107	394	395	0,2%
Álcool Hidratado	191	323	323	40,9%	-100	31	31	112	-367	130,6%
Lixívia	1844	1828	1828	-0,9%	1825	1828	1809	6634	6693	0,9%
Biomassa Líquida - Total	7849	8154	8154	3,7%	7440	7820	7742	28388	27282	-4,1%
Biomassa Gasosa	0	0	0	0,0%	0	0	0	0	0	0,0%
Combustíveis de Biomassa Total	59122	58742	58742	-0,6%	52537	58408	55759	194184	192639	-0,8%
TOTAL GERAL	0	130307	130307	100,0%	116902	122924	119510	426896	429257	0,5%

Tabela 5: Cálculo das Emissões usando Método “Top-Down” do IPCC

	Carbono Contido			Emissões Líquidas de Carbono			Emissões de CO2			
	Este Trabalho	COPPE/MCT	Desvio	Este Trabalho	COPPE/MCT	Desvio	Este Trabalho	COPPE/MCT	Desvio	
Fontes Primárias	53105	52726	-0,7%	52974	52726	-0,7%	52198	191394	192770	0,7%
Petróleo	758	1041	27,2%	750	1041	27,2%	1036	3470	2752	-26,1%
Liq GN	-1720	-1710	-0,6%	-1702	-1710	-0,6%	-1693	-6206	-6242	0,6%
Gasolina	-214	-214	-0,2%	-211	-214	-0,2%	-211	-775	-775	0,0%
Querosene de Aviação	-3	-3	-9,8%	-28	-29	-28	-28	-104	-93	-11,6%
Querosene Iluminante	1553	1554	0,1%	1538	1554	0,1%	1538	5641	5638	-0,1%
Óleo Diesel	114	114	0,2%	113	114	0,2%	113	414	415	0,1%
Óleo Combustível	1402	1401	-0,1%	1388	1401	-0,1%	1387	5084	5088	0,1%
GLP	1924	1944	1,0%	-2122	-2166	-2143	-2143	-7859	-7780	-1,0%
Nafta	-22	-22	-1,7%	-1186	-1198	-1186	-1186	-4349	-4350	0,0%
Asfalto	-24	-24	-0,6%	-290	-281	-0,6%	-288	-1058	-1065	0,7%
Lubrificantes	-19	-19	0,5%	-179	-233	-179	-231	-846	-658	-28,6%
Gás de Refinaria	0	-67		176	0		0	0	646	
Outros Prod. Secundários de Petróleo	178	0								
Outros Prod. Não Energ. de Petróleo	45	45	-0,4%	-984	-989	-0,4%	-979	-3589	-3608	0,5%
Outros Prod. Não Energ. de Petróleo	57077	56766	-0,5%	49815	49988	-0,5%	49494	181149	182669	0,8%
Fontes Primárias	9172	9019	-1,7%	8989	9019	-1,7%	8839	32409	32958	1,7%
Fontes Secundárias	2143	2126	-0,8%	2101	2126	-0,8%	2083	7639	7702	0,8%
Fósseis Líquidos Total	1281	1322	3%	1256	1322	3%	1295	4749	4804	-3,1%
Fósseis Sólidos	0	-41		-60	-105		-104	-380	-221	-72,0%
Fósseis Sólidos - Total	12596	12426	-1,4%	12284	12362	-1,4%	12114	44416	45043	1,4%
Fósseis Gasosos	2474	2374	-4,2%	2266	2166	-4,2%	2144	7147	8308	14,0%
Fósseis Gasosos - Total	2474	2374	-4,2%	2266	2166	-4,2%	2144	7147	8308	14,0%
Outras Fontes Primárias Fósseis	162	0		191	0		0	0	598	
Fósseis - Total	72309	71665	-1,0%	64365	64516	-1,0%	63751	232712	236618	1,7%
Combustíveis de Biomassa	17621	17226	-2,3%	15330	17226	-2,3%	17053	56845	56210	-1,1%

2. Metodologia

O Balanço de Carbono vai tratar de estabelecer uma contabilidade entre as entradas e saídas líquidas de carbono nas atividades energéticas. O Esquema é análogo ao adotado no BEN e mostrado na Figura 1.

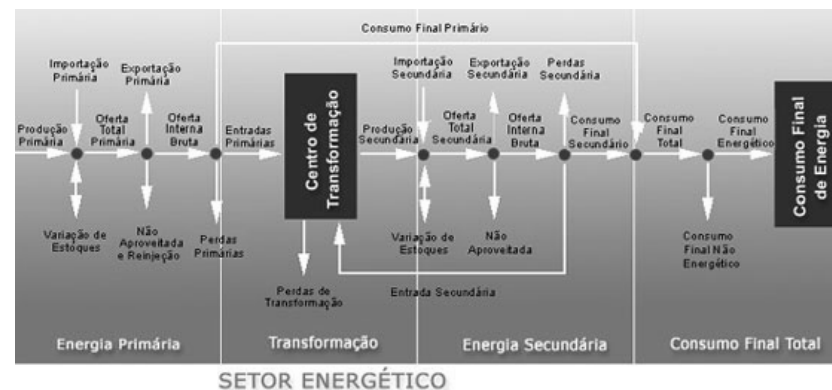


Figura 1: Esquema do Balanço energético Nacional. Fonte: BEN/MME

A rigor, em cada uma das etapas do esquema acima, poder-se-ia realizar um balanço de carbono. Este trabalho se concentra nos centros de transformação e consumo. O tratamento das etapas anteriores é, certamente, de interesse na apuração do balanço, mas teria que envolver dados que não constam do BEN. Seria, por exemplo, importante saber as características do petróleo importado e do produzido internamente para checar o conteúdo de carbono do produto de entrada nas refinarias,

Os valores usados naquele balanço são fornecidos, originalmente, em unidades naturais que correspondem àquelas usadas na origem das informações (massa em t e volume em m³). Em alguns casos, onde há agrupamento de fontes, as unidades estão em toneladas equivalentes de petróleo (tep) e um critério especial deve ser estabelecido para apurar as emissões.

Para os dados de saída, é necessário avaliar a massa (ou volume) dos gases emitidos, seu teor de carbono e a massa desse elemento eventualmente retida. Quando disponível, também devem ser contabilizadas as perdas, desde que elas constituam em uma avaliação real; no caso de serem um simples registro das diferenças contábeis deve-se deixar que o balanço de carbono apure as suas. A metodologia para compilar os resultados, foi objeto de convênio anterior e&e-MCT (ONG N° 01.0077.00/2003), e está descrita nos relatórios apresentados, cujo resumo foi publicado na Revista e&e².

Na metodologia adotada, calculam-se as emissões pela multiplicação dos valores, expressos em energia, relativos ao uso final dos energéticos e a algumas transformações, por coeficientes apurados no levantamento do inventário das emissões causadoras de efeito estufa para o Brasil³. Para anos anteriores aos do período da apuração do inventário de emissões foram usados os coeficientes do primeiro ano para o qual ele foi calculado (1990). Os coeficientes para os anos posteriores ao de 1999 foram tomados iguais aos desse ano (o último do levantamento para o inventário).

Para os hidrocarbonetos, uma aproximação para o teor de carbono por energia contida pode ser obtida a partir da diferença entre os poderes caloríficos superior e inferior fornecidos pelo BEN. A metodologia e sua verificação para a gasolina foi mostrada no No 43 desta revista (http://ecen.com/eee43/eee43p/ecen_43p.htm) e a de gás natural na presente edição. A diferença entre os poderes caloríficos corresponde fundamentalmente ao calor (latente) liberado na condensação do vapor d'água formado na combustão de uma unidade de massa do combustível e ao calor (sensível) retirado da água de condensação para levá-la à temperatura ambiente, considerada a 25° (540+75 cal/g_{água}). A diferença entre os poderes caloríficos permite deduzir a quantidade de água formada e, por conseqüência, do hidrogênio contido por unidade de massa do combustível. A participação do carbono (no caso dos hidrocarbonetos) é o complemento dessa participação.

3. O Conteúdo de Carbono nos Energéticos.

A elaboração de um balanço de carbono exige, em primeiro lugar, a conversão dos dados do Balanço Energético em massa de carbono. A segunda etapa é apurar as emissões que contêm carbono.

Tanto na apuração do conteúdo de carbono quanto na avaliação das emissões, é conveniente e às vezes necessário dispor de dados mais detalhados que os publicados nas páginas anexas do BEN. É bastante conveniente, por exemplo, dispor dos dados de gás natural abertos em gás úmido e seco, dos dados do álcool hidratado e anidro e dos relativos aos compostos da cana de açúcar (caldo de cana, bagaço e melaço).

O Ministério das Minas e Energia disponibilizou, até 2002, dados do balanço na abertura 49 energéticos e 46 "contas"ⁱⁱⁱ. A Economia e Energia – ONG elaborou programa (em Visual Basic e Excel),

ⁱⁱⁱ O conceito de "contas" corresponde, no Balanço Energético Nacional, a pontos de contabilidade que podem ser tanto centros de consumo ou transformação como movimentações referentes à colocação em disponibilidade (oferta bruta) dos energéticos (produção, exportação, importação, etc.)

OLEO COMBUST.	GASOLINA	GLP	NAFTA	QUEROS.	GÁS CÍDADE	COQUE CARY. MIN	URÂNIO C. UO2	ELETRICIDADE	CARVAO VEGETAL	ALCOOLÉTLICO	OUT. SEC. PETROL	PROD. NAO EN. PET.	OUTR. C. MIN.	ENERGIA SECUND.	TOTAL
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	137786
50	100	1474	2082	668	0	1841	0	0	10	1	2180	279	0	13267	43136
-39	115	0	-86	23	0	150	0	0	0	58	231	-26	0	810	1381
11	215	1474	1996	691	0	1991	0	0	10	59	2411	253	0	14077	182303
-6715	-2075	-77	-32	-604	0	0	0	0	-6	-240	-279	-106	0	-10711	-20866
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1409
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-2040
-6704	-1860	1397	1964	87	0	1991	0	0	4	-181	2132	147	0	3365	157987
13925	11696	3912	3771	2561	26	6565	0	0	5942	4083	5681	3737	1153	85231	-16661
15087	11471	3353	5622	2584	0	0	0	0	0	0	4599	3737	0	69558	-667
0	0	543	55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	598	-285
0	0	0	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	26	3
0	0	0	0	0	0	6565	0	0	0	0	0	0	1335	7901	470
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-889	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1886	-4701
-326	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-264	0	-182	-1071	-4555
0	0	0	0	0	0	0	0	0	5942	0	0	0	0	5942	-5348
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4083	0	0	0	4083	-1527
54	226	17	-1906	-24	0	0	0	0	0	0	1347	0	0	99	-42
-8	0	-7	0	0	-4	-9	0	0	-179	-26	-10	0	0	-250	-455
7276	9864	5329	5770	2657	22	8547	0	0	5768	3876	7876	3873	1153	88805	141046
0	0	0	5766	76	0	0	0	0	0	295	118	3873	102	10231	10659
7276	9864	5329	3	2581	22	8547	0	0	5768	3581	7757	0	1052	78574	130388
866	0	7	3	1	0	0	0	0	0	0	2180	0	250	3530	12990
0	0	4396	0	43	18	0	0	0	545	0	0	0	0	5003	14708
334	0	191	0	0	3	0	0	0	73	0	0	0	0	668	873
141	0	293	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	578	595
94	0	14	0	0	0	0	0	0	6	0	0	0	0	4509	6498
656	9864	0	0	2523	0	0	0	0	0	3581	0	0	0	38106	38659
0	9830	0	0	0	0	0	0	0	0	3581	0	0	0	34261	34814
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	384	384
0	34	0	0	2523	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2558	2558
656	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	904	904
5186	0	428	0	13	0	8547	0	0	5145	0	5577	0	801	26180	56064
119	0	0	0	1	0	0	0	0	251	0	2446	0	0	2837	3171
93	0	58	0	2	0	8430	0	0	4457	0	358	0	801	14229	16905
10	0	0	0	0	0	9	0	0	419	0	100	0	0	539	666
667	0	24	0	3	0	0	0	0	0	0	204	0	0	1033	1721
769	0	39	0	0	0	108	0	0	10	0	496	0	0	1421	1701
821	0	12	0	1	0	0	0	0	0	0	1661	0	0	2595	3910
757	0	48	0	2	0	0	0	0	0	0	20	0	0	869	17228
173	0	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	185	405
777	0	22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	831	5030
307	0	109	0	0	0	0	0	0	0	0	58	0	0	481	2843
693	0	104	0	4	0	0	0	0	9	0	233	0	0	1160	2482
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
64	28	27	35	9	0	-1	0	0	0	0	72	-11	0	438	175

Tabela 4: Carbono Contido por Tipo de Combustível e “Conta” –

CONTA / ENERGIA	TIPO DE COMBUSTÍVEL										
	PETROLEO	GAS NATURAL	CARVAO VAPOR	CARVAO MET.	URANIO (U308)	EN. HIDRAULICA	LENHA	PRODUT CANA AC.	OUTRAS	ENERGIA PRIMAR.	OLEO DIESEL
PRODUÇÃO	62886	10284	2090	68	0	0	29461	28850	4147	137786	0
IMPORTAÇÃO	16507	2968	0	10394	0	0	0	0	0	29869	4583
VARIAÇÃO DE ESTOQUES	757	0	-144	-42	0	0	0	0	0	571	384
OFERTA TOTAL	80150	13252	1946	10419	0	0	29461	28850	4147	168226	4967
EXPORTAÇÃO	-10155	0	0	0	0	0	0	0	0	-10155	-577
NÃO APROVEITADA	0	-1409	0	0	0	0	0	0	0	-1409	0
REINJEÇÃO	0	-2040	0	0	0	0	0	0	0	-2040	0
OFERTA INTERNA BRUTA	69995	9803	1946	10419	0	0	29461	28850	4147	154622	4389
TOTAL TRANSFORMAÇÃO	-69687	-3328	-1639	-7431	0	0	-11453	-6955	-1418	-101912	22198
REFINARIAS DE PETRÓLEO	-69543	0	0	0	0	0	0	0	-682	-70225	23106
PLANTAS DE GÁS NATURAL	0	-1499	0	0	0	0	0	0	616	-883	0
USINAS DE GASEIFICAÇÃO	0	-23	0	0	0	0	0	0	0	-23	0
COQUERIAS	0	0	0	-7431	0	0	0	0	0	-7431	0
CICLO DO COMBUSTÍVEL NUCLEAR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
CENTRAIS ELET. SERV. PÚBLICO	0	-1220	-1586	0	0	0	0	0	-9	-2815	-996
CENTRAIS ELET. AUTOPRODUTOR	0	-514	-53	0	0	0	-163	-1346	-1409	-3484	-298
CARVOARIAS	0	0	0	0	0	0	-11290	0	0	-11290	0
DESTILARIAS	0	0	0	0	0	0	0	-5609	0	-5609	0
OUTRAS TRANSFORMAÇÕES	-144	-73	0	0	0	0	0	0	75	-141	387
PERDAS DISTRIB. ARMAZENAGEM	-45	-122	0	-38	0	0	0	0	0	-205	-7
CONSUMO FINAL	0	6352	307	2950	0	0	18008	21895	2729	52241	26796
CONSUMO FINAL NÃO ENERGÉTICO	0	428	0	0	0	0	0	0	0	428	0
CONSUMO FINAL ENERGÉTICO	0	5924	307	2950	0	0	18008	21895	2729	51813	26796
SETOR ENERGÉTICO	0	1459	0	0	0	0	0	8001	0	9460	222
RESIDENCIAL	0	101	0	0	0	0	9605	0	0	9705	0
COMERCIAL	0	124	0	0	0	0	81	0	0	205	67
PÚBLICO	0	17	0	0	0	0	0	0	0	17	145
AGROPECUÁRIO	0	0	0	0	0	0	1988	0	0	1988	4396
TRANSPORTES - TOTAL	0	553	0	0	0	0	0	0	0	553	21483
RODOVIÁRIO	0	553	0	0	0	0	0	0	0	553	20851
FERROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	384
AÉREO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
HIDROVIÁRIO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	248
INDUSTRIAL - TOTAL	0	3671	307	2950	0	0	6334	13893	2729	29884	483
CIMENTO	0	56	10	136	0	0	20	0	113	334	21
FERRO GUSA E AÇO	0	622	5	2050	0	0	0	0	0	2676	29
FERRO LIGAS	0	0	0	47	0	0	81	0	0	128	0
MINERAÇÃO E PELOTIZAÇÃO	0	197	0	491	0	0	0	0	0	688	134
NÃO FERROSOS E OUT. METALUR	0	107	0	173	0	0	0	0	0	280	0
QUÍMICA	0	1070	71	6	0	0	52	0	116	1315	100
ALIMENTOS E BEBIDAS	0	237	54	0	0	0	2205	13863	0	16359	42
TÊXTIL	0	124	0	0	0	0	96	0	0	220	1
PAPEL E CELULOSE	0	265	83	0	0	0	1355	30	2467	4200	32
CERÂMICA	0	439	30	0	0	0	1860	0	33	2362	6
OUTRAS INDÚSTRIAS	0	553	56	48	0	0	665	0	0	1322	118
CONSUMO NÃO IDENTIFICADO	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
AJUSTES ESTATÍSTICOS	-263	0	0	0	0	0	0	0	0	-263	216

denominado *ben_ee*, onde esses dados podem ser obtidos em energia final ou equivalente, em tabelas completas e parciais. Os dados energéticos podem ser representados em toneladas equivalente de petróleo (tep) no conceito anteriormente adotado pelo BEN e no atual^{iv}, em poder calorífico inferior (PCI) e superior (PCS) e em “unidades naturais” (de massa e volume).

Como parte do presente convênio, o programa de computador foi atualizado para os dados disponíveis (1970 a 2002) que passaram a ser expressos também em conteúdo de carbono, mediante a utilização de coeficientes (massa C / energia) para cada energético. Os dados anuais (em energia) são assim convertidos em carbono contido e podem agora também ser compilados para o conjunto de anos de maneira a gerar séries temporais.

Em um outro enfoque, que incorpora resultados da aproximação (Bottom-Up), os dados do balanço consolidado de energia (24 energéticos) e os valores apurados pela equipe do MCT que elaborou o inventário nacional de emissões, que consta da “Comunicação Nacional do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas^v”, foram usados para deduzir coeficientes de emissão por energético em cada um dos setores da economia constantes do balanço (consumo) e os centros de transformação onde existem emissões diretas.

Com o auxílio do programa acima mencionado, denominado *ben_eec* (balanço de energia equivalente e carbono na presente versão), também foram geradas tabelas de conteúdo em carbono por “conta” e por energético dentro da abertura normal do BEN.

A comparação dos resultados segundo as duas metodologias pode ser reveladora sobre a validade dos coeficientes massa de carbono / energia utilizados e sobre eventuais erros ou omissões na apuração do inventário. O balanço de carbono propiciará ainda a oportunidade de fazer, com maior segurança, a extrapolação de valores de emissão para anos anteriores e posteriores aos do Inventário (1990 a 1994).

Espera-se que o primeiro conjunto de resultados seja muito semelhante ao correspondente à apuração “Top-Down” recomendada pelo IPCC. A diferença deveria resultar apenas da quantidade de carbono retida (nos usos não energéticos) e no carbono não oxidado. Facilmente é possível obter os valores de emissão correspondentes a esta metodologia dos resultados gerados nesse programa. O programa e o manual estão disponíveis em <http://ecen.com>

^{iv} No programa adotam-se os termos “tep velho” (10,8 Gcal) e “tep novo” (10,0Gcal) para distinguir os dois tipos de valores.

^v No que se segue, os termos Inventário Nacional (ou brasileiro) e Comunicação Nacional se referem a este documento e ao inventário nele contido.

Apuração do Teor de Carbono

O programa *ben_eec* apresenta os valores fornecidos pelo MME para os poderes caloríficos inferior e superior. Estes valores poderiam ser utilizados para a obtenção do teor de carbono conforme exposto no Anexo 1 do Relatório Final. Embora os resultados para o ano de 2002 tenham sido promissores, algumas diferenças importantes foram constatadas. Além disto, sendo o objetivo deste trabalho o desenvolvimento de metodologia e a formulação de diagnóstico, optou-se por usar nesta etapa os mesmos valores de coeficientes já utilizados anteriormente nos trabalhos para a apuração do inventário de emissões. Por essas razões, foram tomados os coeficientes do relatório da COPPE à Coordenação Geral de mudanças do Clima do MCT⁴ que são, em sua maioria, valores recomendados pelo IPCC⁵. Deve-se assinalar que os valores de emissões encontrados nessa referência foram adotados oficialmente na Comunicação Nacional do Brasil, também já mencionados.

Na Tabela 1 apresentam-se os resultados da aplicação da metodologia baseada nos poderes caloríficos e os coeficientes utilizados nesse trabalho (em princípio os mesmos do trabalho da COPPE para o MCT acima mencionado).

Tabela 1: Teor de Carbono a partir de poderes caloríficos superior e inferior comparado valores baseados no IPCC

Ano 2002	PCS	PCI	KgH ₂ O/ KgComb	kgH/ KgComb	KgC/ KgComb	Massa C / Energia tC/TJ	Usados tC/TJ
	a	b	$e=(a-b)4,18/615$	$f=e/9$	$g=1-f$		
	kcal/kg	kcal/kg					
Petróleo	10800	10180	1,0081	0,112	0,8880	20,9	20,0
Gás natural Úmido (1)	11717	11130	0,9545	0,106	0,8939	19,2	15,9
Gás natural Seco (1)	11735	11157	0,9398	0,104	0,8956	19,2	15,3
Carvão Vapor	3100	2950	0,2439	0,027	0,9729		25,8
Carvão Metalúrgico Nacional	6800	6420	0,6179	0,069	0,9313		25,8
Carvão Metalúrgico Importado	7920	7400	0,8455	0,094	0,9061	29,2	25,8
Lenha Catada	3300	3100	0,3252	0,036	0,9639		29,9
Lenha Comercial	3300	3100	0,3252	0,036	0,9639		29,9
Caldo de Cana	0	623	-1,0130	-0,113	1,1126		20,0
Melaço	0	1850	-3,0081	-0,334	1,3342		20,0
Bagaço de Cana (3)	2257	2130	0,2065	0,023	0,9771		29,9
Lixívia	3030	2860	0,2764	0,031	0,9693		20,0
Óleo Diesel	10700	10100	0,9756	0,108	0,8916	21,1	20,2
Óleo Combustível Médio	10080	9590	0,7967	0,089	0,9115	22,7	21,1

conteúdo de carbono. Deve-se notar que este trabalho usou a mesma fonte de dados usada pela COPPE para o MCT, mas as datas em que os mesmos foram fornecidos pelo MME são diferentes. Em particular, já foi possível usar aqui os valores do poder calorífico inferior (PCI) adotados pelo BEN para a definição de tonelada equivalente de petróleo (tep) que não eram disponíveis na avaliação anterior.

Como o objetivo do presente trabalho não é fazer uma avaliação das emissões, não foram inteiramente esclarecidas algumas pequenas divergências que podem ser tanto dos dados energéticos como da interpretação de como agrupar frações menores do fluxo energético^{vi}. Os resultados da comparação foram bastante animadores, com desvios médios inferiores a 1% que são, sem dúvida, muito inferiores aos implícitos na metodologia adotada.

Resulta, portanto, ser possível realizar uma avaliação das emissões ao longo do período 1970 a 2002, que é apresentada a seguir.

Avaliação das Emissões entre 1970 e 2002 ou o Uso do Processo “Top-Bottom”

A metodologia do IPCC foi adaptada para extrair as emissões diretamente dos dados gerados pelo programa *ben_eec*. Foram utilizadas 3 linhas da planilha mostrada na Tabela 4 a saber:

- Oferta Interna Bruta
- Total Transformação
- Consumo Final Não Energético

Vale a pena mencionar que a metodologia “Top-Down” parte justamente da conservação do número de átomos de carbono ao longo das diversas interações que vão resultar, enfim, na emissão de CO₂ ou outro gás contendo carbono. A metodologia do IPCC é direcionada, no caso, para avaliar a produção do dióxido de carbono.

Essa metodologia consiste em contabilizar os combustíveis primários e secundários que entram no sistema econômico de um país no atendimento de necessidades geradas pelas atividades humanas (mesmo que não comerciais) e a que sai do sistema (retenção em materiais, exportações líquidas e não oxidação).

^{vi} As incertezas associadas ao gás natural e ao álcool devem ser apuradas, já que podem existir problemas com os valores dos poderes caloríficos utilizados.

Conteúdo em Carbono por Energia Primária

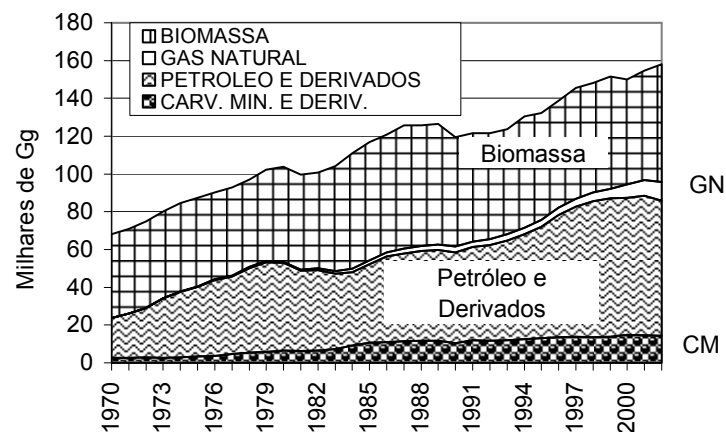


Figura 3: Carbono contido nos energéticos para os principais combustíveis fósseis e biomassa

A Tabela 4 mostra os dados para 1994 usando a discriminação dos anexos do BEN (Balanço Consolidado). O Anexo 3 do Relatório Final contém tabelas adicionais para anos selecionados. Tabelas neste e em outro formato para anos adicionais podem ser geradas pelo programa que acompanha este relatório.

Vale a pena assinalar que da maneira como foi montado o programa, ele fornece como produto quase imediato uma avaliação do tipo “Top-Down” das emissões que contêm carbono. O resultado de uma avaliação deste tipo está muito próximo aos dados correspondentes à linha “Oferta Interna Bruta” na planilha (49 energéticos) que gerou a Tabela 4 (24 energéticos). O programa avalia a quantidade de carbono retido no uso não energético dos combustíveis, com o uso dos fatores sugeridos pelo IPCC, e desconta essa quantidade no item correspondente.

Mais precisamente seria necessário utilizar mais duas linhas da planilha para subsidiar os cálculos: A partir da linha Consumo Final não Energético, avalia-se o carbono retido nos usos não energéticos. A linha “Total Transformação” pode ser usada para avaliar um coeficiente de oxidação nos casos em que, na “abertura” de dados utilizados (49X46), há mais de um coeficiente do IPCC. Isto ocorre apenas nos casos do gás natural (líquidos de gás natural e gás seco) e da lenha (produção de carvão e outros usos).

Na Tabela 5 comparam-se os resultados gerados pelo processo “Top-Down” (COPPE / MCT) com os aqui calculados a partir da tabela do

Ano 2002	PCS	PCI	KgH ₂ O/ KgComb	kgH/ KgComb	KgC/ KgComb	Massa C / Energia	
	a	b	e=(a-b)4,18/ 615	f=e/9	g=1-f	Calculados.	Usados
	kcal/kg	kcal/kg				tC/TJ	tC/TJ
Gasolina Automotiva	11170	10400	1,2520	0,139	0,8609	19,8	18,9
Gasolina de Aviação	11290	10600	1,1220	0,125	0,8753	19,7	19,5
Gás liquefeito de Petróleo	11740	11100	1,0407	0,116	0,8844	19,0	17,2
Nafta	11300	10630	1,0894	0,121	0,8790	19,8	20,0
Querosene Iluminante	10940	10400	0,8780	0,098	0,9024	20,7	19,6
Querosene de Aviação	11090	10400	1,1220	0,125	0,8753	20,1	19,5
Gás de Coqueria (4)	4500	4300	0,3252	0,036	0,9639		18,2
Gás Canalizado Rio de Janeiro (4)	3900	3800	0,1626	0,018	0,9819		18,2
Gás Canalizado São Paulo (4)	4700	4500	0,3252	0,036	0,9639		18,2
Coque de Carvão Mineral	7300	6900	0,6504	0,072	0,9277	32,1	30,6
Carvão Vegetal	6800	6460	0,5528	0,061	0,9386		29,9
Álcool Etilico Anidro	7090	6750	0,5528	0,061	0,9386		14,81
Álcool Etilico Hidratado	6650	6300	0,5691	0,063	0,9368		14,81
Gás de Refinaria	8800	8400	0,6504	0,072	0,9277	26,4	18,2
Coque de Petróleo	8500	8390	0,1789	0,020	0,9801	27,9	27,5
Outros Energéticos de Petróleo	10800	10180	1,0081	0,112	0,8880	20,8	20,0
Outras Secundárias - Alcatrão	9000	8550	0,7317	0,081	0,9187	26,2	20,0
Asfaltos	10300	9790	0,8293	0,092	0,9079	22,1	22,0
Lubrificantes	10770	10120	1,0569	0,117	0,8826	20,8	20,0
Solventes	11240	10550	1,1220	0,125	0,8753	19,8	20,0
Outros Não-Energ. de Petróleo	10800	10180	1,0081	0,112	0,8880	20,8	20,0

Resultados para o Carbono Contido

O programa *ben_eec* fornece os dados do carbono contido por “conta” e por energético. Na Tabela 2 estão indicados os valores de carbono contido nos energéticos constantes do Balanço Energético para o petróleo e derivados (incluindo os líquidos de gás natural), para o gás natural e para o carvão mineral e seus derivados. Também é apresentada a soma das massas de carbono dos combustíveis fósseis com as massas dos combustíveis derivados da biomassa. Os valores obtidos são comparados com os do inventário nacional e apresentam boa concordância.

Tabela 2: Conteúdo de Carbono em Energéticos Usados no Brasil de 1970 a 2002

	PETRÓLEO E DERIVA-DOS	GAS NATURAL	CARVÃO. MIN. E DERIV.	FÓSSEIS	BIOMASSA	TOTAL
1970	21068	123	2595	23786	44399	68185
1971	23396	192	2613	26201	44645	70846
1972	26103	215	2784	29101	45705	74806
1973	31311	241	2737	34289	45818	80108
1974	34607	359	2914	37880	46705	84585
1975	36603	397	3459	40460	46874	87334
1976	40186	441	3640	44266	45998	90264
1977	40933	527	4668	46128	46696	92824
1978	44712	630	5421	50763	46240	97003
1979	47451	655	5868	53975	48244	102219
1980	46432	733	6403	53568	50388	103955
1981	42538	709	6181	49428	50354	99782
1982	42509	941	6574	50024	50683	100707
1983	39832	1273	7401	48505	55525	104030
1984	38983	1609	9143	49735	61072	110807
1985	41368	1966	10799	54133	62778	116911
1986	45312	2298	10916	58526	62129	120655
1987	46318	2606	11537	60461	65387	125849
1988	47359	2714	11851	61923	63783	125706
1989	48068	2854	11745	62667	63799	126466
1990	48205	2909	10326	61441	58103	119544
1991	49282	2927	11978	64187	57287	121473
1992	50771	3088	11642	65501	56134	121635
1993	52751	3306	12051	68107	55602	123709
1994	55725	3415	12426	71565	58742	130307
1995	58957	3609	13150	75717	56595	132312
1996	64639	3957	13687	82282	56472	138754
1997	68738	4345	13911	86994	58465	145459
1998	72024	4534	13659	90217	57886	148103
1999	73149	5156	13873	92178	59275	151453
2000	72662	6813	14856	94331	55613	149944
2001	73866	8289	14643	96798	58001	154799
2002	71547	9803	14356	95706	62280	157985

Tabela 3: Comparação entre o Conteúdo de Carbono Obtido e os do Inventário Brasileiro

	Este Trabalho			COPPE para o MCT		
	FÓSSEIS	BIOMASSA	TOTAL	FÓSSEIS	BIOMASSA	TOTAL
1990	61441	58103	119544	62345	58567	120912
1991	64187	57287	121473	64903	57716	122619
1992	65501	56134	121635	66259	56587	122846
1993	68107	55602	123709	68832	56063	124895
1994	71565	58742	130307	72311	59122	131433

A Figura 2 representa a evolução do carbono contido nos energéticos usados no Brasil comparados com os valores do inventário nacional.

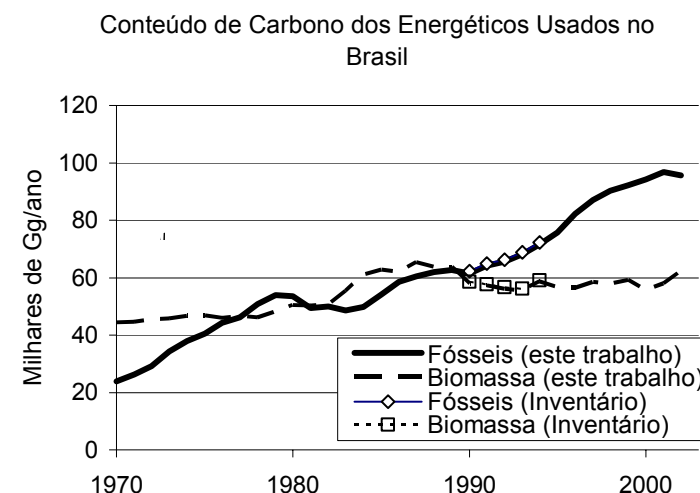


Figura 2: Conteúdo de carbono nos energéticos usados no Brasil obtidos neste trabalho comparados com dados do Inventário Nacional.

A Figura 3 mostra a evolução do conteúdo de carbono nos energéticos usados no Brasil por energia primária fóssil de origem e da biomassa