

Apoio:

**Ministério do
Desenvolvimento, Indústria e
Comércio Exterior**



Ministério de
Minas e Energia



Estoque de Capital na América Latina: 1950-2000
Aumara Feu e Marcos Souza

O Balanço de Carbono nos Centros de Transformação de Energia
Carlos Feu Alvim, Omar Campos Ferreira, Frida Eidelman

Economia e Energia
Revista



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

Nº 50: Junho-Julho 2005

ISSN 1518-2932

Versão em Inglês e Português também disponível bimensalmente em: <http://ecen.com>

Artigo:

Estoque de Capital na América Latina: 1950-2000 *Marcos Souza e Aumara Feu* pag. 02

Estima-se o estoque de capital, segundo o método do estoque perpétuo, para países da América Latina de 1950 a 2000. Os resultados demonstram significativa queda da produtividade média do capital de 1960 a meados da década de 80. A partir daí, a produtividade marginal de capital que vinha em queda inicia uma recuperação. O comportamento é similar para o Brasil, Mercosul e América Latina. Confirmada a tendência atual, as perspectivas de crescimento de longo prazo para a região tendem a se elevar.

Artigo:

O Balanço de Carbono nos Centros de Transformação de Energia *Carlos Feu Alvim, Omar Campos Ferreira, Frida Eidelman* pag. 21

O balanço de carbono é um instrumento importante para identificar as fontes de emissão dos gases que provocam o efeito estufa. Sendo o uso e transformação de energia fundamental no incremento do estoque desses gases na atmosfera, o levantamento do balanço de carbono serve para localizar setores e combustíveis sobre os quais é prioritário atuar para mitigar as emissões. O balanço de carbono serve de teste para as metodologias de apuração das emissões. No caso dos centros de transformação (instalações onde uma fonte primária ou secundária é convertida em subprodutos ou outra forma de energia) o balanço revelou alguns problemas na apuração do inventário brasileiro. Também foram apontados alguns aparentes problemas nos dados do Balanço Energético Nacional que serviram de base para o estudo.

Artigo:

Estoque de Capital na América Latina: 1950-2000¹

Marcos Souza (*)

masouza@ecen.com

Aumara Feu ()**

aumara-feu.souza@fazenda.gov.br

RESUMO

Este estudo calcula o estoque de capital, segundo o método do estoque perpétuo, para países da América Latina de 1950 a 2000, em nível agregado e por tipo de bem: máquinas e equipamentos e bens de construção. As séries construídas servem de insumo para a análise do crescimento dos países da América Latina. Adicionalmente, analisamos a composição e a tendência do investimento e do estoque de capital nos países da região, bem como da produtividade média e marginal do capital. Os resultados demonstram significativa queda da produtividade média do capital de 1960 a meados da década de 80. O comportamento decrescente da produtividade média do capital também tende a se reverter, caso se mantenha a maior produtividade marginal observada na década de 90.

Palavras-chave: capital, investimento, produtividade, crescimento e América Latina.

Classificação JEL: E22, O54

¹ Este artigo é parte integrante da Tese de Doutorado de Marcos Souza.

1. Introdução

O estoque de capital é variável explicativa na maioria dos modelos de crescimento da teoria econômica. Segundo Ferreira, Issler e Pessoa (2003), o capital explica 49% do crescimento, quando considerado no sentido amplo, e 21%, quando se retira do capital o efeito indireto da produtividade.

O peso desse fator no crescimento econômico, bem como sua escassez relativa nos países em desenvolvimento, tornam a estimativa do estoque de capital, da produtividade média e marginal do capital, determinantes tanto para o entendimento das possibilidades de crescimento quanto na análise da experiência de crescimento dos países membros da América Latina.

Apesar disso, inexistem séries de estoque de capital que abrangem o período e o conjunto de países analisados neste trabalho: 1950-2000 e dezoito países da América Latinaⁱⁱ. De Gregório (1992), por exemplo, ressenete-se da falta desses dados, quando analisa os determinantes do crescimento econômico de 12 países latino-americanos no período de 1950 a 1985.

Hofman (2000), contudo, fornece o estoque de capital para sete países da América Latina de 1950 a 1994 e a *Penn World Table 5.6 (PWT 5.6)* para uma amostra de 63 países, dentro os quais 13 pertencem à América Latina, para o período 1965-1992. Ressaltamos, no entanto, que a nova versão da *Penn World Tables, PWT 6.1*, Heston et al. (2002) não apresenta as séries de estoque.

Assim, o objetivo deste trabalho é estimar o estoque de capital, agregado e por tipo de bem: máquinas e equipamentos e bens de construção, por meio do método de estoque perpétuo (*MEP*), para 18 países latino-americanos (1950 a 2000).

O Método de Estoque Perpétuo consiste na soma dos investimentos passados, descontados da depreciação, e foi utilizado pela primeira vez por Goldsmith (1951). Na literatura, continua sendo amplamente adotado por sua transparência e simplicidade como, por exemplo, em Hofman (2000), Morandi e Reis (2004) e Aumara Feu (2003)ⁱⁱⁱ.

Como o investimento é insumo na determinação do estoque, analisamos o comportamento e a composição dessa variável no período,

ⁱⁱ Argentina, Bolívia, Brasil, Chile, Colômbia, Costa Rica, El Salvador, Equador, Guatemala, Honduras, México, Nicarágua, Panamá, Paraguai, Peru, Uruguai e Venezuela.

ⁱⁱⁱ Esta última descreve em detalhes a metodologia do cálculo do estoque de capital do Brasil, segundo o MEP.

discutindo, também, o reflexo do investimento e do estoque de capital no comportamento da produtividade marginal e média do capital.

Cabe destacar, preliminarmente, que encontramos queda da produtividade média do capital no período, consequência da menor produtividade marginal observada de 1960 a meados da década de 80. Essa menor produtividade do capital explicaria parte do fraco desempenho econômico da região na década de 80 e 90. A boa notícia, contudo, advém da constatação de que, caso persista a elevação da produtividade marginal, observada na década de 90, podemos esperar uma elevação da produtividade média do capital para os próximos anos.

Desse modo, este trabalho está dividido em quatro seções, incluindo esta introdução e a conclusão. A Seção 2 descreve a metodologia utilizada no cálculo dos estoques de capital para os países da América Latina de 1950 a 2000 e a Seção 3 discute alguns resultados: como a composição e o comportamento do investimento e da produtividade marginal e média do capital. Os resultados são apresentados na forma de tabelas nos anexos e são analisados de forma agregada, para a América Latina e o MERCOSUL^{iv}, destacando alguns comportamentos relevantes por país, principalmente, no que concerne ao Brasil.

2. Metodologia

A aplicação do *MEP* depende de três fatores: (i) da estimativa do tempo de vida do capital considerado como normal; (ii) da função de depreciação, utilizada para calcular a depreciação do capital no tempo, e (iii) do período disponível da série de investimento.

Quanto aos dois primeiros fatores, usaremos o tempo de vida (v) estimado pela OCDE (1999): 19 anos para máquinas e equipamentos (*M&EQP*) e 48 anos para bens de construção (*CONST*), e função de depreciação linear com defasagem.

Suporemos que o período em que não há depreciação, período de defasagem (m), seja igual à 10% do tempo de vida (v) de cada bem. Logo, para máquinas e equipamentos e para bens de construção, onde os tempos de vida considerados são 19 e 48 anos, respectivamente, teremos uma defasagem de dois e cinco anos, respectivamente.

^{iv} Neste trabalho, toda vez que mencionarmos MERCOSUL, estamos considerando apenas Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. O MERCOSUL evoluiu a partir de um processo de aproximação econômica entre Brasil e Argentina em meados dos anos 80 e foi iniciado com a assinatura do Tratado de Assunção em 1991 entre Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai. Na XXVII Reunião do Conselho do Mercado Comum, realizada em dezembro de 2004 em Belo Horizonte, foi formalizada a adesão de Colômbia, Equador e Venezuela ao MERCOSUL na condição de Estados Associados.

Hulten (1990), Jorgenson e Sullivan (1981) e Hofman (2000) usam defasagem de um ano, enquanto que a OCDE utiliza defasagem de 5 anos. Decidimos, todavia, por adotar um percentual fixo do tempo de vida.

Por outro lado, quanto ao terceiro fator, descreveremos, ainda nesta seção, a construção das séries de investimento por país para o período anterior a 1950. Por ora, cabe esclarecer que ao tratarmos o estoque de capital como função do histórico dos investimentos passados (MEP), torna-se necessária uma série de investimento mais longa.

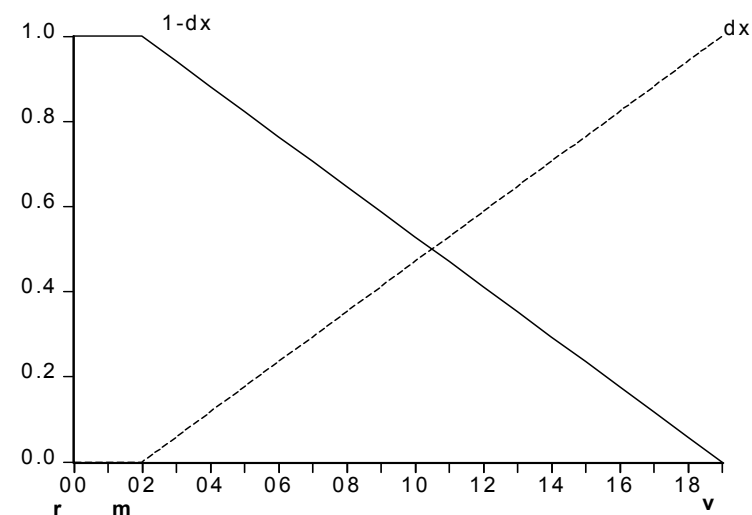
A título de exemplo, para o ano considerado como inicial (t_0) e o tempo de vida do capital (v), necessitamos do histórico dos investimentos passados, a partir de v anos anteriores a t_0 . Ou seja, isto representaria investimentos realizados 19 e 48 anos antes de t_0 para M&EQP e para CONST, respectivamente.

Dados o tempo de vida do capital (v) e o período de defasagem (m), exógenos ao modelo, podemos calcular a taxa de depreciação sobre o bem de capital (d) como o inverso do tempo de depreciação ($v-m$), ou seja, $d = 1/(v-m)^v$. Dessa forma, no ano t , um investimento realizado no ano r , terá idade correspondente a $t-r$ e, como consideramos o período de defasagem (m), o tempo em que a depreciação irá incidir será $x = t-r-m$.

O Gráfico 1 representa a função de depreciação acumulada (D), $D = f(d, x) = dx$, onde $d = f(v, m) = 1/(v-m)$ e $x = f(t, r, m) = t-r-m$. Essa função mostra a depreciação acumulada ano a ano e a sua imagem, a função de sobrevivência (S), $S = f(D) = (1-D)$, mostra o capital ainda não sucataado. Para exemplificar, no Gráfico 1, adotamos $m = 2$, $v = 19$ e, conseqüentemente, $v-m = 17$.

^v A taxa de depreciação sobre o bem de capital (d), na função linear com defasagem, é constante a partir de $(m+1)$, sendo que a taxa cumulativa aplicada ao bem aumenta de d anualmente até alcançar a unidade.

Gráfico 1: Função de Depreciação Acumulada (D) e Função de Sobrevivência (S)



Fonte: Aumara Feu (2003, p. 9).

Observamos que quando adotamos taxa de depreciação com defasagem sobre o bem de capital investido, isto é, depreciação zero no período de defasagem e constante até o final do tempo de vida do capital, a taxa de depreciação sobre o estoque de capital total, δ , fica dependente do comportamento do investimento e da variação na idade do estoque. Assim, caso ocorra um choque positivo no investimento de um país, a idade do capital daquela economia cairia, bem como a taxa de depreciação sobre este estoque.

O comportamento descrito, acima, é decorrente da função de depreciação considerada. Ele não seria observado caso a função fosse linear, mas sem defasagem, e com taxa de depreciação sobre o bem de capital investido constante ao longo de toda a vida do bem. Contudo, segundo o manual da OCDE (1993), não parece plausível supor que os bens se desgastem à mesma taxa, principalmente, nos primeiros anos de vida.

Enfatizamos, ainda, que d varia por tipo de bem^{vi} e δ , por tipo de bem e por país. Para simplificar a notação, no entanto, as fórmulas apresentadas abaixo não explicitam a divisão por tipo de bem.

Desse modo, o estoque de capital será calculado de acordo com a equação de movimento do capital:

$$K_{t+1} = \sum_{r=t-v}^t I_r - d \sum_{r=t-v}^{t-m} (t-m-r)I_r, \quad [1]$$

onde capital K em $t + 1$ é dado pela soma dos investimentos (I) passados, ainda em processo de sucatamento, menos a depreciação desses investimentos, conforme o tempo de depreciação de cada tipo de bem. O número de anos em que a depreciação deve incidir, $x = t - m - r$, é dado pela diferença entre o ano anterior (t), o tempo de defasagem (m) e a data em que foi realizado o investimento (r).

Conforme mencionado, a fórmula do estoque de capital baseia-se na soma de investimentos passados. Assim, para calcularmos o estoque de capital para bens de construção em 1950 necessitaremos de dados sobre o investimento relativo a 1902.

Essas séries estão disponíveis apenas para seis países da amostra: Argentina, Chile, Colômbia, México e Venezuela, por Hofmam (1992), e Brasil, por Estatísticas do Século XX do IBGE^{vii}.

Enfatizamos que, quando se trabalha com diversos países, a dificuldade em se encontrar séries de tempo sobre o investimento, agregado e por tipo de bem, leva a maioria dos autores, como em Ferreira, Pessoa e Issler (2003) e Young (1995), a utilizar uma estimativa do capital inicial e aplicar o *MEP* para os anos seguintes.

^{vi} A divisão da série de investimento por tipo de bem não é de difícil acesso nos bancos de dados disponíveis. Neste trabalho, para o Brasil, consideramos o percentual do investimento por tipo de bem fornecido pelas Estatísticas do Século XX do IBGE 2003. Para os outros países, encontramos dados para os anos 1950, 1955, 1960, 1965, 1970, 1975 e para o período 1978 a 2002, em vários volumes, do *Statistical Yearbook for Latin America and the Caribbean*. Sendo assim, interpolamos a participação do investimento por tipo de bem no investimento total para os anos sem observação para a maioria dos países, exceto para Argentina, Chile Colômbia, México e Venezuela, cujos dados de 1978 a 2002 foram aglutinados aos disponibilizados por Hofmam (1992).

^{vii} Para o período de 1950 a 2000, a *PWT* fornece as séries taxa de investimento e produto *per capita* a preços constantes de 1996, bem como a população para todos os países considerados neste estudo. Desta forma, multiplicando a taxa de investimento pelo produto *per capita* e pela população temos a série de investimento a preço de 1996 para o período 1950-2000 por país da América Latina. As séries de investimento fornecidas por Hofmam (1992) e pelo IBGE foram aglutinadas à da *PWT*, segundo a variação anual correspondente.

Dessa forma, para o restante dos países, calculou-se o estoque de capital inicial por meio da Equação [1]:

$$K_0 = I_0 / (g_i + \delta), \quad [2]$$

onde o estoque de capital inicial depende do nível do investimento em t_0 , da taxa de depreciação sobre o estoque, δ , e do crescimento do investimento, g_i .

Observamos que a Equação [2] pressupõe que a taxa de crescimento do investimento e da depreciação não variam no tempo. Uma taxa de crescimento constante para investimento não é, contudo, observada nos países em desenvolvimento que estão na maioria das vezes sujeitos a choques externos. Da mesma forma, quando se considera a taxa de depreciação constante, esta não condiz com a taxa estimada pelo *MEP*, com função de depreciação linear com defasagem.

Assim, a Equação [2], ao pressupor taxas constantes e ao fixar o ano inicial, o qual pode representar um ano atípico, viesia o resultado do cálculo do estoque, principalmente, no caso dos países em desenvolvimento, que estão mais sujeitos a choques estruturais.

Como exercício para analisarmos essas questões, calculamos o estoque de capital inicial, segundo os dois métodos, *MEP* e a Equação [2], para os seis países dos quais dispúnhamos de séries longas de investimento. Neste exercício, observamos que o resultado difere de forma significativa nos países onde a série de investimento apresenta grande variação ao longo do tempo.

Ressaltamos que a diferença persiste, mas diminui, quando se considera g_i como a taxa de crescimento do investimento média^{viii} do período, t_0 como o ano no qual a taxa investimento (I/Y) se aproxima da média do período e a taxa média de δ como função do comportamento do investimento. Essas variáveis: g_i , t_0 e δ , diferem por país, sendo que g_i e δ , também, variam por tipo de bem.

O resultado descrito acima mostra que o cálculo do estoque inicial pela Equação [2], bem como o seu desgaste a partir de então, deve considerar o comportamento do investimento por país.

Destarte, de modo a construir com maior acuidade o cálculo do estoque, para aqueles países cuja série de investimento posterior a 1950 não está disponível: (i) calculamos o estoque de capital inicial segundo a Equação [2], depreciando este estoque por meio de taxa de depreciação constante, variando por país e por tipo de bem (estimada conforme especificado abaixo) e (ii) adicionamos ao estoque de capital inicial sobrevivente os investimentos posteriores, depreciados pelo *MEP*.

^{viii} A taxa de crescimento média do investimento no período foi calculada dividindo a média dos três anos finais pela média dos três anos iniciais, elevando o resultado ao inverso do número de anos e subtraindo da unidade.

Desta forma, para os países que dispomos de série de investimento a partir de 1950, temos:

$$K_{t+1} = K_0(1+\delta)^{t-v} + \sum_{r=t-1950}^t I_r - d \sum_{r=t-1950}^{t-m} (t-m-r)I_r, \quad [3]$$

onde o estoque é a soma do estoque de capital inicial depreciado, segundo uma taxa de depreciação geométrica constante, variando por país e por tipo de bem, e dos investimentos posteriores a 1950 depreciados de acordo com o MEP^x .

Falta ainda descrever como calculamos, por país e por tipo de bem, as taxas de depreciação incidentes sobre o estoque de capital inicial. Utilizamos a forma simplificada proposta por Alvim Silva (2004).

Essa forma mostra que, considerando taxa de depreciação linear sobre o investimento e parâmetros constantes no que concerne ao tempo de vida e à taxa de crescimento do investimento, pode-se calcular uma taxa de depreciação constante sobre o estoque de capital.

Segundo o autor, considerando o tempo de vida (v) e a taxa média de crescimento do investimento (g_i), ocorrida no período que vai de t_0 a $t-v$, a taxa de depreciação, δ , pode ser estimada a partir da seguinte equação:

$$\delta = \frac{(1 + e^c + e^{2c} + \dots + e^{(v-1)c})}{(1 + 2e^c + 3e^{2c} + \dots + ve^{(v-1)c})}, \quad [4]$$

onde $c = \log(1 - g_i)$.

Na realidade, não dispomos de dados sobre investimento e, conseqüentemente, sobre a respectiva taxa de crescimento (g_i) para o período anterior a $t-v$ no caso dos países em que foi necessário estimar o estoque de capital inicial e a taxa de depreciação incidente sobre ele. Por isso, utilizamos, para a maioria dos países, como *proxy* da taxa de crescimento do investimento, a taxa de crescimento do produto^x.

Cabe mencionar ainda que, para a Bolívia, a República Dominicana e para o Panamá, onde não obtivemos dados sobre o produto para o período anterior a t_0 , utilizamos a média do crescimento dos outros países, excluindo a Venezuela (país exportador de Petróleo). Com isto, estamos pressupondo que a depreciação sobre o estoque de capital inicial, nesses três países, é igual à média dos outros países.

^{ix} Lembramos que, nas estimativas econométricas, usamos como ano inicial o ano de 1960, quando parte dos investimentos anteriores a 1950 já estariam sucitados.

^x Os dados de produto, anteriores a 1950, foram retirados de Maddison (1995).

Dessa forma, disponibilizamos no Anexo de Tabelas, as séries do estoque de capital total, do estoque de máquinas e equipamentos e do estoque de bens de construção para 18 economias latino-americanas no período 1950-2000, Tabelas 1, 2 e 3, respectivamente.

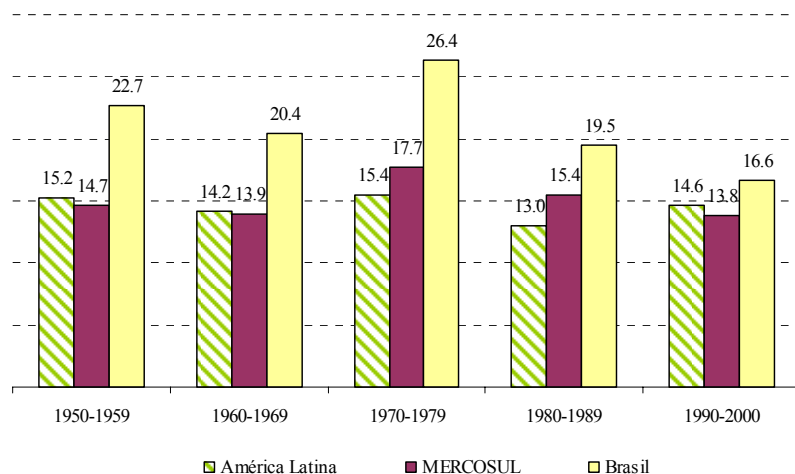
3. Discussão dos Resultados

Discutiremos, a seguir, alguns resultados derivados das séries de estoque de capital, obtidas segundo a metodologia apresentada na seção anterior. O estoque de capital é determinante para o crescimento econômico de longo prazo e, como pode ser deduzido da seção anterior, está relacionado de forma direta à taxa de investimento. Assim, antes de apresentarmos os resultados do estoque capital, vamos investigar comportamento da taxa de investimento no período 1950-2000 dos países da América Latina.

É necessário mencionar que, até o início da década de 80, a maior parcela do crescimento da América Latina era explicada pelo investimento. De acordo com De Gregório (1992, p. 67), no período 1950 a 1985, os países latino-americanos cresceram a taxa média de 4,2% ao ano, dos quais 51% são explicados pelo investimento, 30% pelo crescimento da população e 19% pelo crescimento da produtividade total dos fatores.

No caso do Brasil, Aumara Feu (2003) encontra resultados semelhantes: no período 1953-1980, atribui o crescimento brasileiro, em primeiro lugar, a altas taxas de investimento e, depois, ao crescimento da produtividade total dos fatores. A autora ressalta que o efeito da taxa de investimento no crescimento foi potencializado pela alta produtividade de capital no período.

No Gráfico 2, podemos observar a evolução da média simples, por década, da taxa de investimento total (investimento a preço constante como percentagem do PIB) dos países da América Latina, do MERCOSUL e do Brasil.

Gráfico 2: Taxa de Investimento Total (%): 1950-2000

Fonte: PWT 6.1.

Desse gráfico, podemos inferir que a evolução da taxa de investimento total ao longo das quatro décadas é a mesma nos três níveis de análise, América Latina, MERCOSUL e Brasil: (a) queda na década de 60 em relação à de 50; (b) crescimento na década de 70, apresentando o maior nível médio do período e (c) queda na década de 80 e 90, com exceção da América Latina, que apresentou pequena recuperação nos anos 90^{xi}.

Destacamos os níveis elevados de investimento total na região, durante os anos 70, período de rápido crescimento da região, e os elevados níveis de investimento do Brasil frente à média latino-americana ao longo de todo o período.

Cabe mencionar ainda que, de acordo com o indicador de liberalização Sachs-Warner (Sachs e Warner, 1995 e Wacziarg e Welch, 2003), entre 1985 e 1996, dezessete países da América Latina se abriram para a economia mundial. Moguillansky e Bielschowsky (2001) denominaram de período transição a fase na qual as reformas promovidas na região afetaram o comportamento dos agentes econômicos.

O período de transição varia de acordo com o país e, segundo Moguillansky e Bielschowsky (2001), pode ser dividido em duas fases: a

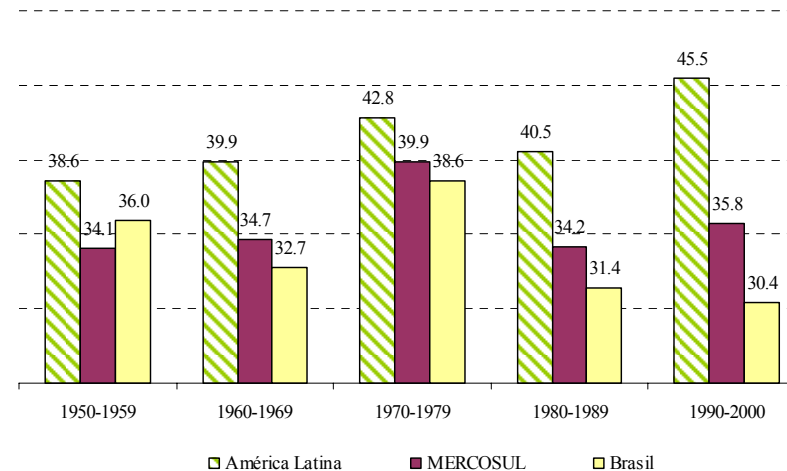
^{xi} A recuperação do investimento como proporção do PIB na América Latina se deve, principalmente, à variação positiva observada, em ordem decrescente, no Panamá (variação entre a década de 90 e a de 80 de 80,1%, correspondendo à elevação de 10,4 pontos percentuais na proporção do investimento no PIB do país), no Chile e em Honduras.

primeira, com racionalização da produção e queda na taxa de investimento, e a segunda, com modernização dos equipamentos pelas firmas e elevação da taxa de investimento.

Para a maioria dos países da região, a primeira fase ocorreu entre meados da década de 80 e início da de 90 e a segunda fase na década de 90. No caso da América Latina, o comportamento descrito pelos autores para o investimento pode ser observado no Gráfico 2.

Quanto ao Brasil e ao MERCOSUL, no entanto, não se observa esse comportamento no gráfico. Este fato pode ser explicado pelo retardo no processo de modernização que, segundo Moguillansky e Bielschowsky (2001), iniciou-se em 1995.

No Gráfico 3, apresentamos o comportamento da razão entre investimento destinado a máquinas e equipamentos e investimento total. A leitura da evolução dessa razão é relevante para entendermos o comportamento do estoque desse tipo de bem e, também, devido à evidência empírica da associação positiva e forte entre investimento em equipamento e crescimento^{xii}.

Gráfico 3: Média da Razão entre Investimento em Máquinas e Equipamentos e Investimento Total (%): 1950-2000

Fonte: PWT 6.1.

^{xii} A evidência empírica pode ser encontrada nas contribuições de De Long e Summers (1991) e (1993). Segundo esses autores, as nações que investiram de forma mais intensa em equipamentos desfrutaram de crescimento mais rápido no período 1960-1985, relativamente às que tinham mesmo nível de desenvolvimento e não investiram. Jones (1994) fornece evidência de associação forte e negativa entre preço do maquinário e crescimento.

Como podemos observar, no gráfico acima, com exceção da década de 80, os países da América Latina vêm aumentando de forma gradual a parcela do investimento total destinada a máquinas e equipamentos, passando de 38,6% na década de 50 para 45,5% na de 90^{xiii}.

No caso dos países do MERCOSUL e do Brasil, não há tendência definida. A parcela do investimento destinada a máquinas e equipamentos nos países membros do MERCOSUL, segue o comportamento observado nos países da América Latina, mas tem pequena variação, média de 15,1% e coeficiente de variação de 0,1% no período.

No Brasil, a oscilação do percentual do investimento destinado a máquinas e equipamentos é maior: cai na década de 60, cresce na década de 70, atingindo o valor máximo, e cai nas duas décadas seguintes, a variação apresenta média de 21,0% e coeficiente de variação de 0,2% no período.

A análise dos dois gráficos, representados acima, mostra que, no Brasil, o percentual da produção destinado ao investimento é mais elevado que a média latino-americana, mas a parcela desse investimento em máquinas e equipamentos é inferior à média da região.

Essa característica do investimento brasileiro com relação à média dos países latino-americanos se reflete na composição do estoque de capital. A Tabela 1 mostra o percentual do estoque de capital da América Latina, do MERCOSUL e do Brasil, formado por máquinas e equipamentos, em 1960 e em 2000, e a taxa de crescimento do PIB na década de 60 e de 90.

Tabela 1: Taxa de Crescimento do PIB e Proporção do Estoque em Máquinas e Equipamentos no Estoque de Capital (%)

Períodos	Estoque em M&EQP		Crescimento	
	1960	2000	1960-1969	1990-1999
América Latina	31,26	29,25	5,37	3,35
MERCOSUL	29,42	21,30	4,26	3,53
Brasil	26,14	17,17	6,97	1,99

Fonte: Estimativas calculadas pelos autores.

Dessa tabela, destacamos a redução da parcela do estoque de capital formada por máquinas e equipamentos entre 1960 e 2000 na América Latina e, de forma destacada, no MERCOSUL e no Brasil. Salientamos que, na América Latina, como a proporção de investimento

^{xiii} Os principais países que influenciaram no comportamento do investimento em máquinas e equipamentos na região foram, com efeito positivo: Panamá, Costa Rica e Honduras e com efeito negativo: Peru, Venezuela, Equador e Brasil.

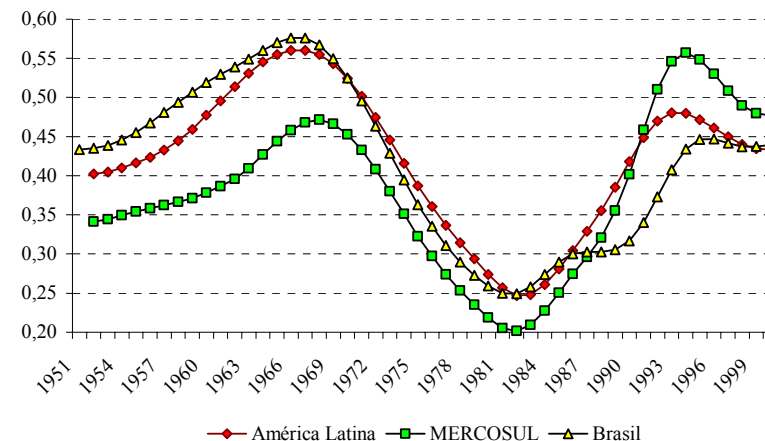
em máquinas e equipamentos se elevou na última década, a proporção do estoque em máquinas e equipamentos também deve crescer nos próximos anos.

Lembramos que a mudança no tipo de investimento, e conseqüentemente, na composição do estoque de capital limita as perspectivas de crescimento futuro, dada a evidência de correlação positiva com o investimento em máquinas e equipamentos.

Os dados da tabela acima dão suporte a essa evidência ao mostrarem que, de 1960 a 2000, a participação do estoque em máquinas e equipamentos caiu, assim como o crescimento na região. Podemos considerar que o maior investimento em máquinas e equipamentos, observado na última década na América Latina, pode ser indicativo de um maior crescimento da região nos próximos anos, e também que a queda do investimento neste tipo de bem para o Brasil não é um indicador otimista para o país.

A seguir, nos Gráficos 4 e 5, apresentamos, respectivamente, a produtividade marginal do capital (*PMgK*), relação entre variação anual do produto e variação anual do estoque de capital^{xiv}, e a produtividade média do capital (*PMeK*), razão entre produto e estoque de capital (inverso da razão capital/produto), para América Latina, MERCOSUL e Brasil, para o período 1951-2000.

Gráfico 4: Produtividade Marginal do Capital (PMgK): 1950-2000



Fonte: Estimativas calculadas pelos autores.

No Gráfico 4, podemos estabelecer três fases bem definidas do comportamento da *PMgK* na América Latina, no MERCOSUL e no Brasil:

^{xiv} Ambas as séries foram ajustadas pelo filtro de Hodrik-Prescott.

(i) crescente entre 1950 e 1968; (ii) decrescente do início da década de 70 até meados da década de 80 e (iii) crescente da segunda metade da década de 80 até a metade da década de 90. Além disso, na segunda metade da década de 90, a *PMgK* inicia nova tendência decrescente, mas que parece estabilizar-se no final do período.

Na América Latina e para no Brasil, o pico da produtividade marginal do capital ocorre na segunda metade da década de 60, enquanto que para o MERCOSUL, o valor máximo ocorre no ano de 1994. Com relação à diferença de nível da *PMgK*, observamos que, até o início da década de 90, Brasil e América Latina se alternaram na apresentação do maior nível. Atualmente, a *PMgK* no MERCOSUL é mais elevada que na América Latina e no Brasil.

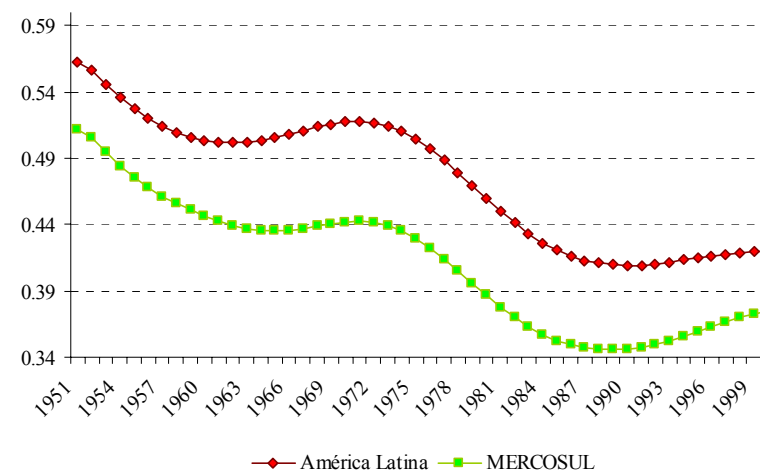
O pico observado no Mercosul no ano de 1994, bem como a elevação da produtividade marginal do MERCOSUL na década de 90, é reflexo do aumento da *PMgK* observada na Argentina entre meados das décadas de 80 e 90. Ressaltamos que o peso da Argentina na *PMgK* do MERCOSUL é ponderado pela renda relativa do país na região^{xv}.

Assim, de acordo com essa *proxy* para a *PMgK*, até o início da década de 90, o retorno do capital era mais elevado em um país médio da América Latina que nos países do MERCOSUL. Como a teoria prevê *PMgK* mais elevada para países de menor renda, essa diferença era esperada dada à pobreza relativa de um país médio da América Latina com respeito ao bloco: Argentina, Brasil, Paraguai e Uruguai.

Contudo, o argumento não se mantém na década de 90, uma vez que a produtividade marginal do capital do MERCOSUL é maior que na América Latina. Lembramos que a medida da *PMgK* é uma aproximação, do mesmo modo que esse resultado para o MERCOSUL pode estar relacionado com a queda na taxa de investimento ou com a intensidade e a característica da liberalização da região nos anos 90.

^{xv} O cálculo da produtividade marginal apresentado: soma da variação do investimento líquido da região dividida pela soma da variação do produto, pondera a participação de cada país de acordo com a renda relativa deste país na amostra considerada. Dessa forma, a tendência da produtividade marginal do capital reflete o comportamento dos países de maior renda, como Brasil, México e Argentina.

Gráfico 5: Produtividade Média do Capital (*PMeK*): 1950-2000

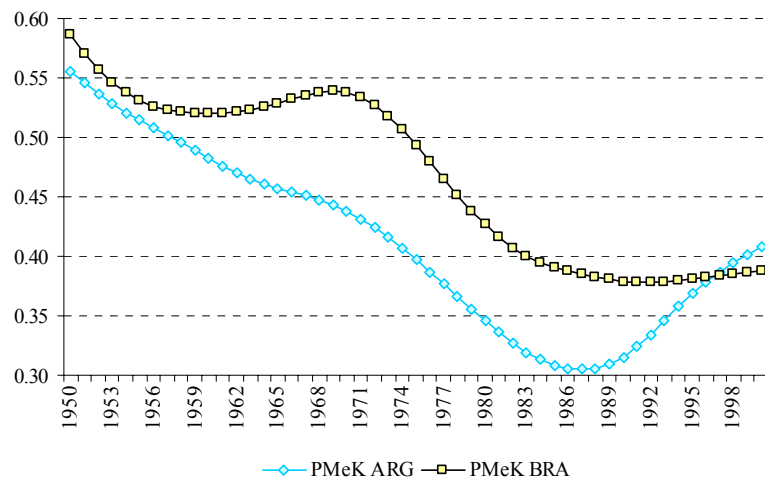


Fonte: Estimativas calculadas pelos autores.

A *PMeK*, inverso da razão capital produto, tem tendência decrescente similar nas duas subdivisões: América Latina e MERCOSUL. Na década de 90, a série da *PMeK* parece ter se estabilizado em um patamar mais baixo. No MERCOSUL, a *PMeK*, depois de atingir o menor valor do período em 1989, chega a esboçar leve tendência crescente. Esta é influenciada pela *PMeK* na Argentina conforme mostra o Gráfico 6.

O Gráfico 5 sugere, portanto, mudança do nível da *PMeK* dos países latino americanos nessas últimas quatro décadas. Enquanto que, no início da década de 60, os países da América Latina necessitavam de 2 unidades de capital para gerar 1 unidade de produto, atualmente exige-se 2,4 unidades. A queda na produtividade média do capital (16,7%), apesar de ser esperada pela teoria para países em crescimento^{xvi}, limita o crescimento atual e futuro, quando se considera a escassez de capital na região.

^{xvi} A América Latina cresceu em média 5,7% na década de 60 ao ano.

Gráfico 6: *PMeK* da Argentina e do Brasil: 1950-2000

Fonte: Estimativas calculadas pelos autores.

Cabe ressaltar que, segundo Aumara Feu (2003) e Morandi (2004), Argentina e Brasil teriam alcançado o mesmo nível de *PMgK* dos países desenvolvidos. Dessa forma, como o Brasil e a Argentina possuem baixa renda per capita relativa, *PMeK* semelhante à dos países desenvolvidos e escassez do fator capital, ambos tiveram o crescimento esperado comprometido.

Esclarecemos, contudo, que a elevação da *PMgK*, observada no Gráfico 4, desde o início da segunda metade da década de 80 na América Latina, inclusive para o Brasil e a Argentina, se refletirá na *PMeK* com o tempo.

Lembramos também que, como a produtividade média do capital é variável estoque enquanto a produtividade marginal é variável fluxo, então, ao se incorporar capitais mais produtivos ao estoque, este vai aumentando, de forma gradual, a capacidade de agregar valor. Assim, se a tendência de crescimento, ou mesmo a estabilidade da *PMgK* em patamar mais elevado, for confirmada as perspectivas de crescimento de longo prazo para ambos os países tendem a se elevar.

4. Conclusão

Neste trabalho, calculamos a série de estoque de capital para 18 países da América Latina. Na metodologia utilizada, que usa o investimento por tipo de bem: máquinas e equipamentos e bens de construção como insumo, observamos queda do investimento como proporção do *PIB* na década de 80 na América Latina, no MERCOSUL e no Brasil. Na década de 90, a tendência declinante persiste, à exceção da América Latina, onde se nota uma pequena recuperação, devido ao maior investimento observado em alguns países, tais como Panamá, Chile e Bolívia.

No Brasil, destacamos o elevado nível do investimento como proporção do *PIB*, quando comparado com a América Latina e o MERCOSUL, a tendência decrescente desse nível, bem como a queda da participação do investimento em máquinas e equipamentos no investimento total do país, principalmente, na última década. O comportamento do investimento no Brasil influenciaria negativamente as perspectivas de crescimento, tendo em vista a correlação positiva entre investimento e crescimento, a qual se eleva, segundo De Long e Summers (1991) e (1993), se os tipos de bem investidos forem máquinas e equipamentos.

Por outro lado, na América Latina, observamos a tendência à elevação do investimento em máquinas e equipamentos como proporção do investimento total, bem como pequena recuperação do investimento como proporção do *PIB* na última década. Essa tendência, embora não confirmada no MERCOSUL e no Brasil, é um indicativo favorável ao crescimento da região.

Dos resultados do cálculo da série do estoque de capital, podemos inferir, ainda, que a produtividade marginal do capital caiu entre o final da década de 60 até meados da década de 80. Este comportamento gerou uma queda na produtividade média do capital que parece ter mudado de patamar nas últimas quatro décadas. A queda na produtividade média do capital (16,7%), explicaria parte do fraco desempenho da América Latina nas décadas 80 e 90.

Cabe mencionar, contudo, que, a partir de meados da década de 80, a produtividade marginal do capital (variável fluxo) voltou a se elevar. Assim, caso esse resultado persista com o passar do tempo, logo terá reflexos na produtividade média do capital (variável estoque). Desse modo, confirmada a tendência de crescimento, ou mesmo a estabilidade da produtividade marginal em patamares mais elevados, *ceteris paribus*, as perspectivas de crescimento de longo prazo para a região tendem a se elevar. É preciso ressaltar que, em estudo paralelo, estamos analisando a influência do comportamento do estoque de capital, bem como da liberalização comercial, sobre o crescimento econômico dos países da América Latina no período 1950-2000.

Tabelas Anexas disponíveis na internet:

http://ecen.com/eee50/eee50p/ecen_50p

Tabela 1: Estoque de Capital na América Latina: 1950-2000 (em milhões de dólares constantes de 1996)

Tabela 2: Estoque de Capital em Máquinas e Equipamentos na América Latina: 1950-2000 (em milhões de dólares constantes de 1996)

Tabela 3: Estoque de Capital em Bens de Construção na América Latina: 1950-2000 (em milhões de dólares constantes de 1996)

Referências

- ALVIM SILVA, C. Metodologia Simplificada para Estimativa da Evolução da Produtividade de Capital. *Economia & Energia*, n. 44, maio/junho 2004. (Texto para Discussão)
- DE GREGORIO, J. Economic growth in Latin America. *Journal of Development Economics*, v. 39, n. 1, p. 59-84, July. 1992.
- DE LONG, J.; SUMMERS, L. Equipment investment and economic growth. *Quarterly Journal of Economics*, 106, n. 2, p. 445-502, May, 1991.
- DE LONG, J.; SUMMERS, L. How Strongly do Developing Economies Benefit from Equipment Investment? *Journal of Monetary Economics*, v. 32, n. 3, p. 395-415, Dec. 1993.
- FERREIRA, P.; ISSLER, J.; PESSOA, S. Testing production functions used in empirical growth studies. *Economic Letters*, v. 83, n. 1, p. 29-35, April 2003.
- FEU, A. *A Produtividade do Capital no Brasil de 1950 a 2002*. 2003. 151 f. Tese (Doutorado em Economia) Programa de Doutorado em Economia, Universidade de Brasília, Brasília.
- GOLDSMITH, R. *A Perpetual Inventory of National Wealth*. In: Studies in Income and Wealth 14. NBER: New York, 1951.
- HESTON, A.; SUMMERS, R.; ATEN, B. *Penn World Table Version 6.1*. Center for International Comparisons at the University of Pennsylvania (CICUP), Oct. 2002.
- HOFMAN, A. Capital accumulation in Latin America: a six country comparison for 1950-1989. *Review of Income and Wealth*, v. 38, n. 4, p. 365-401, Dez. 1992.
- HOFMAN, A. Standardised capital stock estimates in Latin America: a 1950-94 update. *Cambridge Journal of Economics*, v. 24, n. 1, p. 45-86, Jan. 2000.
- HULTEN, C. *The Measurement of Capital*. In: Fifty Years of Economic Measurement. Org. BERNDT, E.; TRIPLETT, J. Chicago: University of Chicago, 1990.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Estatística do Século XX*. Rio de Janeiro, 2003. CD-ROM.

- JONES, C. Economic growth and the relative price of capital. *Journal of Monetary Economics*, v. 34, n. 3, p. 359-382, Dec. 1994.
- JORGENSEN, D.; SULLIVAN, M. *Inflation and Corporate Capital Recovery*. In: Depreciation, Inflation, and the Taxation of Income form Capital. Org. HULTEN, C. Washington: The Urban Institute, 1981.
- MADDISON, A. *Monitoring the World Economy 1820-1992*. Paris: Organization for Economic Co-Operation and Development (OECD), 1995.
- MOGUILLANSKY, G.; BIELSCHOWSKY, R. *Investment and Economic Reform in Latin America*. Santiago: CEPAL, 2001.
- MORANDI, L.; REIS, E. Estoque de Capital Fixo no Brasil, 1950-2002. 2004. In: XXXII Encontro Nacional de Economia - ANPEC, 2004. João Pessoa, PB. Anais do XXXII Encontro Nacional de Economia - ANPEC, 2004.
- ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT. *Methods Used by OCDE Countries to Measure Stocks of Fixed Capital – OECD*. Paris: 1993.
- _____. *International Sectoral Data Base*. Paris: 1993.
- SACHS, J.; WARNER, A. Economic reform and the process of global integration. *Brookings Papers on Economic Activity*, v. 1995, n. 1, p. 1-118, 1995.
- UNITED NATIONS. *Statistical Yearbook for Latin America and the Caribbean (1975-2003)*. Chile.
- WACZIARG, R.; WELCH, K. *Trade liberalization and growth: new evidence*. Cambridge: National Bureau of Economic Research, Dec. 2003. (NBER Working Paper No. 10152.)
- YOUNG, A. The tyranny of numbers: confronting the statistical realities of the East Asian growth experience. *Quarterly Journal of Economics*, v. 110, n. 3, p. 641-680, Aug. 1995.

Autores:

(*) Marcos Souza: Doutorando em economia da Universidade de Brasília. Universidade de Brasília, Departamento de Economia, Campus Darcy Ribeiro – ICC Norte. Brasília – DF, CEP 70.910-900. Fone: (61) 367-3292. Fax: (61) 487-5246. E-mail: masouza@ecen.com

() Aumara Feu:** Doutora em economia pela Universidade de Brasília e analista de finanças e controle da Secretaria do Tesouro Nacional. Secretaria do Tesouro Nacional. Esplanada dos Ministérios - Bloco P, Edifício Anexo Ala A – 1º andar, Brasília – DF, CEP: 70.048-900. Fone: (61) 412-1965. Fax: (61) 487-5246. E-mail: aumara-feu.souza@fazenda.gov.br.

Artigo:

Balanço Energético nos Centros de Transformação

Carlos Feu Alvim
feu@ecen.com
 Frida Eidelman
frida@ecen.com
 Omar Campos Ferreira

Introdução

No N° 48 foram publicados os primeiros resultados do estudo resultante do convênio entre o MCT e *Economia e Energia* cujos resultados foram apresentados àquele ministério em fevereiro de 2005. A conservação dos átomos de carbono se dá em todas as etapas do ciclo. Também ela se verifica no que concerne à energia no Balanço Energético, já que o que acontece são transformações entre uma forma de energia e outra. sendo a energia usada na transformação contabilizada no setor energético.

Os centros de transformação não são tratados de maneira homogênea no BEN. Em alguns casos é possível realizar separadamente o balanço de carbono da matéria prima e dos subprodutos (as emissões são computadas no Setor Energético de maneira conjunta); em outros casos, as emissões devem ser apuradas no próprio centro. No que se segue, lista-se a estrutura e a nomenclatura adotada pelo BEN,

Tipos de Centros de Transformação

O BEN trabalha com os seguintes tipos de centros de transformação:

- Refinarias de Petróleo,
- Plantas de Gás Natural,
- Usinas de Gaseificação,
- Coquerias,
- Destilarias,
- Carvoarias,
- Centrais Elétricas de Serviço Público,
- Centrais Elétricas Autoprodutoras,
- Ciclo de Combustível Nuclear
- Outras Transformações

Do ponto de vista do balanço de carbono podemos distinguir três (ou quatro) tipos de transformação:

- Unidades de transformação onde o carbono entra como componente da matéria prima e sai sob a forma de produtos (derivados), não havendo contabilmente emissões de gases contendo carbono; neste tipo de transformação, não existe emissão de gases para a atmosfera (as cinco primeiras);

- Unidades onde é necessário contabilizar, na saída, subprodutos e gases de rejeito contendo carbono (carvoarias)
- Unidades que podem ser tratadas como centros de consumo, não havendo conteúdo de carbono nos produtos (centrais elétricas térmicas de serviço público e autoprodutoras)

Finalmente, existem unidades como as usinas de geração hidrelétrica e nuclear onde não existem produtos de carbono na entrada ou na saída e que não precisam ser tratadas para o estabelecimento do balanço de carbono. As emissões originadas em equipamentos auxiliares dessas unidades, como geradores a diesel e outras, devem aparecer em outras unidades de contabilidade como as correspondentes ao Setor Energético.

Veremos também que, nas unidades de transformação do primeiro tipo, o que existe é um artifício contábil onde as emissões são contabilizadas no Setor Energético.

No que se segue, serão apresentados alguns tipos de centro de transformação para ilustrar a abordagem adotada. É interessante notar que, mesmo nos casos de algumas das transformações onde as emissões não aparecem na contabilidade, a apuração do balanço é útil porque, no processo, verifica-se a coerência dos dados entre os insumos (utilizados na abordagem com os produtos intermediários contabilizadas) e os resultados obtidos a partir de coeficientes extraídos da apuração do inventário nacional de emissões que se supõe baseados em medidas de emissões avaliadas (“Bottom-Up”) para o tipo de combustível no setor, salvo nos casos em que a falta de dados tenha obrigado o uso de coeficientes genéricos em sua elaboração.

A Figura 1 apresenta o esquema de apuração do Balanço de Carbono em uma refinaria de petróleo.

Os compostos de petróleo, usados como fonte de energia na própria refinaria, são contabilizados como produto (saída) embora, fisicamente, o consumo de energia e as emissões se verifiquem na própria refinaria. A parte consumida na refinaria é lançada como “entrada” na contabilidade do Setor Energético onde também são computadas as emissões. O balanço de carbono deve “fechar” para o sistema constituído pela refinaria e pelo Setor Energético.

Um caso semelhante ocorre nas unidades de processamento de gás natural (úmido) onde são extraídos alguns subprodutos líquidos que podem ser incorporados diretamente aos produtos comercializados como gás liquefeito de petróleo (GLP), gasolina ou a nafta, uma fração que é tratada pelas refinarias e o gás natural denominado “seco” (fundamentalmente metano e etano).

A entidade “Setor Energético” é usada ainda para registrar todo o consumo nas unidades a ele relacionadas – inclusive centros de transformação. Este

consumo não inclui a energia “transformada”^{xvii} cujo tratamento é feito nos centros correspondentes de contabilidade.

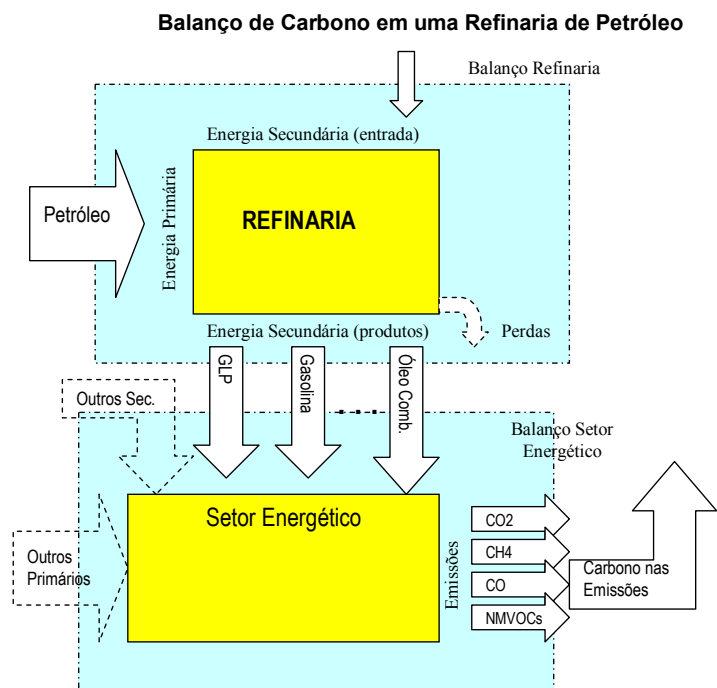


Figura 1: Balanços para as refinarias e o Setor Energético

A entidade “Setor Energético” é usada ainda para registrar todo o consumo nas unidades a ele relacionadas – inclusive centros de transformação. Este consumo não inclui a energia “transformada”^{xviii} cujo tratamento é feito nos

^{xvii} No caso das refinarias, por se tratar de reações químicas, onde a geração de calor (energia consumida) e a transformação (mudança de constituição dos hidrocarbonetos) não têm uma fronteira definida. A especificação de um produto intermediário (como o óleo combustível) para ser contabilizado como produto da refinaria e fonte de energia usada no setor energético é, na verdade, um artifício contábil para montar o balanço energético. Aliás, um dos atrativos de se introduzir o setor energético no balanço (energético) é que ele torna mais elegante a contabilidade dos centros de transformação, contabilizando as perdas como gastos no setor energético.

^{xviii} No caso das refinarias, por se tratar de reações químicas, onde a geração de calor (energia consumida) e a transformação (mudança de constituição dos hidrocarbonetos) não têm uma fronteira definida. A especificação de um produto intermediário (como o óleo combustível) para ser contabilizado como produto da refinaria e fonte de energia usada no setor energético é, na verdade, um artifício contábil para montar o balanço energético. Aliás, um dos atrativos

centros correspondentes de contabilidade.

Também é interessante assinalar que para o petróleo, seus derivados “não energéticos” integram o balanço energético; este procedimento será seguido no balanço de carbono^{xix}. O fato do tratamento não ser uniforme para todas as fontes exige algumas adaptações metodológicas que serão oportunamente tratadas.

Na Figura 2, mostra-se o esquema adotado pelo BEN para as destilarias e ilustra-se a maneira de se fazer o balanço de carbono.

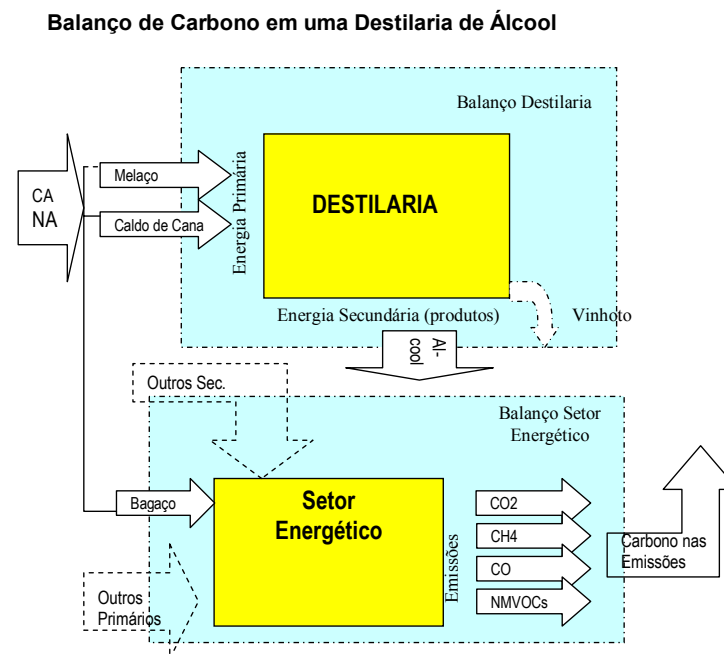


Figura 2: Esquema do balanço de carbono para as destilarias, mostrando que “produtos da cana” (denominação do BEN) são tomados como diferentes formas de energia primária. O bagaço é contabilizado no Setor Energético, mas o vinhoto não é explicitado no BEN. O melão (concentrado de açúcar em destilarias anexas a usinas de açúcar) também é considerado como energia primária.

de se introduzir o setor energético no balanço (energético) é que ele torna mais elegante a contabilidade dos centros de transformação, contabilizando as perdas como gastos no setor energético.

^{xix} O mesmo não acontece, por exemplo, com o açúcar, que poderia ser encarado como um produto “não energético” (pelo menos do ponto de vista do balanço energético) da cana.

Nas coqueiras (produção de coque a partir do carvão mineral) contabiliza-se como produtos o coque e o gás que é parcialmente consumido no processo mas contabilizado no setor energético. Espera-se, assim, que o balanço de carbono possa ser feito neste nível.

Espera-se que a produção do gás de rua (gás mais pobre que o natural distribuído para consumo) também possa ser tratada como centro de balanço de carbono. A diversidade de matérias primas usadas ao longo dos anos neste processo e a variação de sua composição deveria ocasionar, no entanto, dificuldades na contabilidade deste tipo de unidade. É bom lembrar que este é um combustível em extinção no Brasil com o advento da distribuição de gás natural seco diretamente aos consumidores (foram necessárias adaptações na rede e nos aparelhos de consumo).

No caso das carvoarias, a energia primária (lenha) é transformada em carvão pela queima parcial. Não existe um produto intermediário adequado para transferir o consumo para o setor energético (parte poderia ser atribuída ao monóxido de carbono – CO, mas isto não é feito). Além disto, todo o gás é usado no processo de transformação ou emitido diretamente. O balanço de carbono deve ser apurado adicionando-se o carbono contido no produto àquele que compõe as emissões, conforme é indicado na Figura 3.

Balanço de Carbono em uma Carvoaria

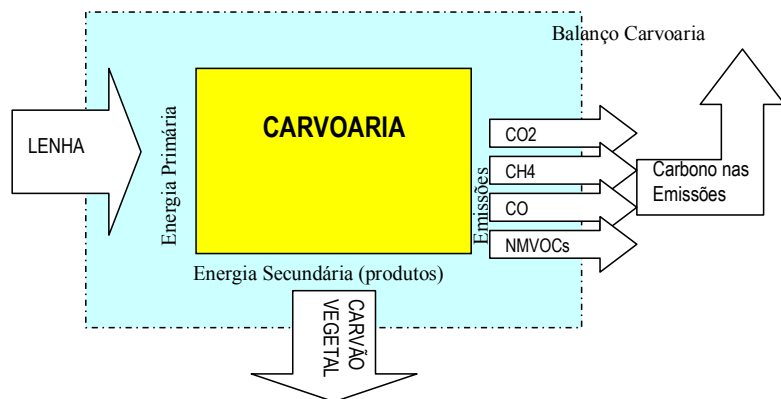


Figura 3: Balanço de Carbono em uma Carvoaria.

Para as centrais de geração de eletricidade, estão disponíveis os valores de entrada correspondente aos combustíveis usados na geração. O balanço de carbono – de que estamos tratando – pode ser apurado, nessas unidades, da mesma maneira como será feito em setores consumidores, mesmo porque o produto (eletricidade) não contém

carbono. O esquema do balanço de carbono é mostrado na Figura 4

Balanço de Carbono de Centrais Elétricas

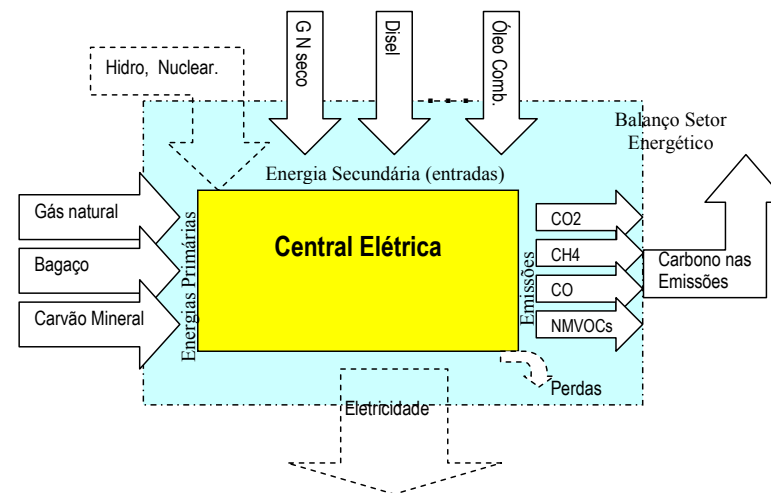


Figura 4: Esquema de balanço de carbono em centrais elétricas; no caso de autoprodutores a unidade de balanço pode ser “virtual”, localizada, por exemplo, em um estabelecimento industrial. Os aportes hídrico e nuclear e o produto “eletricidade” que fazem parte do balanço energético não contribuem para o balanço de carbono. Os produtos tracejados indicam, neste caso, valores não computados no balanço. No caso das perdas, elas estarão incluídas nas diferenças encontradas no balanço de carbono.

Em virtude do exposto, a apuração do balanço de carbono em algumas unidades de transformação não envolve emissões e pode ser feita a partir dos resultados de conteúdo de carbono o que são apresentados, a seguir, para o período 1970 a 2002.

Balanço de Carbono nas Refinarias

Para cinco dos centros de transformação é possível apurar o balanço de carbono pré-emissões. O principal deles é o das refinarias de petróleo.

A Tabela 1 mostra o balanço de energia e carbono para 2002 indicando, ainda, os coeficientes expressos em tC/tep (tep de 10000 kcal) ou em tC/TJ (1 cal = 4,1855 j)

O balanço de carbono “fecha” com precisão semelhante ao do balanço de energia. Isso, como pode ser visto na Tabela 2, também é válido para anos anteriores. Além disso, a balanço de carbono é negativo, o que é

compatível com perdas na transformação que não são registradas no BEN. Para o conjunto de petróleo processado entre 1970 e 2002, o saldo do balanço de carbono apresenta uma diferença de apenas -0,8% e um desvio médio quadrático de 1,0% nos valores anuais.

Tabela 1: Balanço de Energia e de Carbono nas Refinarias de Petróleo no Brasil em 2002

	ENERGIA	MASSA C		tC/TJ
	mil tep	mil t (Gg)	tC/tep	
ENTRADA	84002	70225		
PETROLEO	83076	69543	0,837	20,0
OUTRAS RECUPER.	926	682	0,737	17,6
SÁIDA	82939	69558		
OLEO DIESEL	27330	23106	0,845	20,2
OLEO COMBUST.	17083	15087	0,883	21,1
GASOLINA AUTOMOT.	14445	11427	0,791	18,9
GASOLINA AVIACAO	54	44	0,816	19,5
GLP	4657	3353	0,720	17,2
NAFTA	6716	5622	0,837	20,0
QUEROS. ILUM.	187	153	0,820	19,6
QUEROS. AVIACAO	2978	2431	0,816	19,5
GAS DE REFIN.	3222	2455	0,762	18,2
COQUE PETROLEO	1585	1825	1,151	27,5
OUT.EN. PETROLEO	382	320	0,837	20,0
ASFALTOS	1641	1511	0,921	22,0
LUBRIFICANTES	728	610	0,837	20,0
SOLVENTES	536	448	0,837	20,0
OUT.NAO EN.PET.	1395	1167	0,837	20,0
SALDO DO BALANÇO	-1064	-667		
SALDO DOBALANÇO (%) (*)	-1,3%	-1,0%		

(*) (Saída-Entrada)/Entrada

Na Tabela 2 estão representados os balanços de carbono para as refinarias para anos escolhidos. Além de anos redondos (final de década), foram escolhidos os anos de 1990 e 1994 (anos extremos de apuração do inventário nacional), 1999 (ano para o qual existem algumas avaliações) e 2002 (último ano computado).

Tabela 2: Balanços de Carbono para anos selecionados (Massa de Carbono em mil t (Gg))

	1970	1980	1990	1994	1999	2002
	ENTRADA	21376	46335	50807	54729	68474
PETROLEO	21376	46335	50711	54326	68022	69543
OUTRAS RECUPER.	0	0	96	404	452	682
SÁIDA	20817	45876	50784	54047	67824	69558
OLEO DIESEL	4798	14146	17804	19282	22748	23106
OLEO COMBUST.	7418	14537	10785	10760	14859	15087
GASOLINA AUTOMOT.	5822	6792	7050	9076	11278	11427
GASOLINA AVIACAO	0	0	46	65	60	44
GLP	708	1952	2504	2887	2955	3353
NAFTA	58	2546	5254	4634	6475	5622
QUEROS. ILUM.	523	437	167	111	53	153
QUEROS. AVIACAO	547	1789	2070	1929	2496	2431
GAS DE REFIN.	177	893	1612	1890	2064	2455
COQUE PETROLEO	0	0	528	636	1328	1825
OUT.EN. PETROLEO	25	315	3	0	7	320
ASFALTOS	0	0	1141	1186	1375	1511
LUBRIFICANTES	0	0	572	599	598	610
SOLVENTES	0	0	202	285	298	448
OUT.NAO EN.PET.	742	2469	1046	705	1228	1167
SALDO DO BALANÇO	-559	-459	-22	-682	-650	-667
SALDO DO BALANÇO (%) (*)	-2,6%	-1,0%	0,0%	-1,2%	-0,9%	-1,0%

(*) (Saída-Entrada)/Entrada

Os balanços de carbono e de energia têm, além disto, comportamentos muito semelhantes ao longo do tempo (Figura 5) o que indica que os coeficientes usados parecem permanecer válidos, não obstante as substanciais variações das características dos combustíveis usados no Brasil (principalmente do diesel), no período estudado. Esta mudança de características dos combustíveis ocorreu, sobretudo, no período das crises de petróleo quando a presença do álcool carburante (substituindo a gasolina) e o vigoroso processo de substituição do óleo combustível provocaram um aumento da participação do diesel no consumo de derivados de petróleo. Além disso, existia (e ainda existe) substancial vantagem no preço desse combustível por quilômetro rodado. A Figura 5 mostra que, não obstante as variações no combustível, o

comportamento, ao longo do tempo, do balanço de carbono é muito semelhante ao do balanço de energia. Ou seja, as variações no balanço de carbono se referem principalmente a variações na contabilidade da energia e não aos parâmetros relativos ao teor de carbono.

É bom notar que o BEN apresenta um acompanhamento do conteúdo em energia dos combustíveis ao longo dos anos (tep por m³ ou kg). Estes dados são usados nos cálculos do teor em carbono e corrigem, em parte, essas variações. O mesmo pode não ocorrer quando – como acontece no caso do gás natural úmido – a transformação das “unidades naturais” (de massa ou volume) passa por um coeficiente constante para conversão em energia ao longo dos anos.

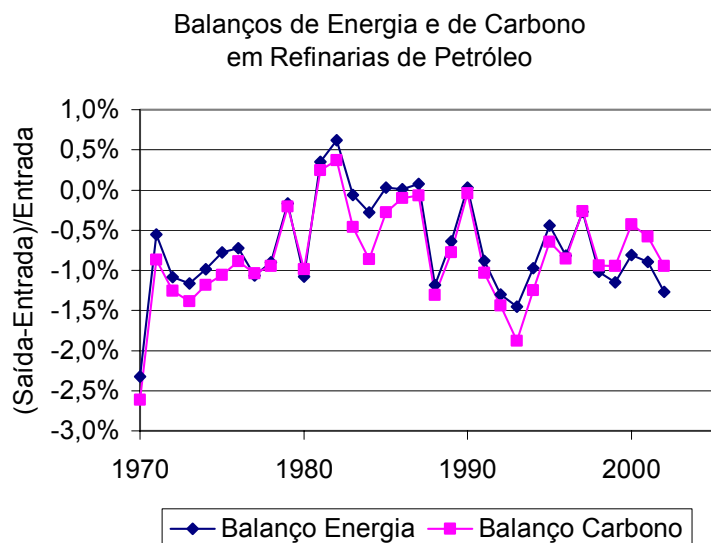


Figura 5: Os balanços de energia e de carbono mostram um comportamento semelhante ao longo dos anos e um baixo desvio de massa. Isto é indicativo da boa escolha dos coeficientes de teor de carbono e da pouca influência da mudança das características dos combustíveis no balanço de carbono nas refinarias

Balanço de carbono nas unidades de processamento de gás natural (UPGN)

Nas UPGN extrai-se do gás natural in natura (úmido) líquidos que se condensam à temperatura ambiente, restando no gás natural (seco) principalmente o metano e o etano. As frações líquidas podem ser incorporadas diretamente a alguns produtos (GLP, nafta, etc) ou serem

tratados em refinarias. Como pode ser observado na Figura 6, este último parece ser o destino preferencial nos anos recentes, muito provavelmente por que facilita a maior homogeneidade dos produtos comercializados e simplifica a operação das UPGN.

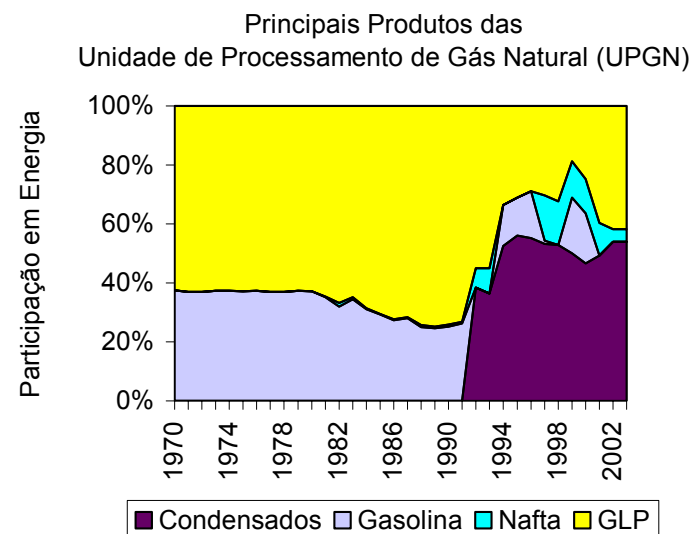


Figura 6: A partir de 1992, cerca da metade do produto das UPGN no Brasil passou a constituir-se na fração de condensados de gás natural que aparecem no BEN como matéria prima de entrada nas refinarias.

O balanço de energia e de carbono é mostrado na **Tabela 3**, para o ano de 2002, bem como os fatores utilizados para sua obtenção.

Tabela 3: Balanços de Energia e Carbono nas UPGN em 2002.

	ENERGIA	MASSA C	tC/tep	tC/TJ
	mil tep	mil t (Gg)		
ENTRADA (GAS NAT. ÚMIDO)	10125	6738		
SAÍDA	9837	6453		
GAS NAT SECO	8181	5239	0,640	15,3
OUTRAS RECUPER.	836	616	0,737	17,6
GASOLINA AUTOMOT.	0	0		
GLP	755	543	0,720	17,2
NAFTA	66	55	0,837	20,0
SALDO BALANÇO	-287	-285		
SALDO DO BALANÇO (%) (*)	-2,8%	-4,2%		

(*) (Saída-Entrada)/Entrada.

Na Tabela 4 o balanço de carbono é indicado para anos escolhidos.

Tabela 4: Balanço de Carbono em anos selecionados (massa em Gg)

	1970	1980	1990	1994	1999	2002
ENTRADA (GAS NAT. ÚMIDO)	380	894	2825	3352	4430	6738
SAÍDA	407	940	2884	3382	4501	6453
GAS NAT SECO	304	718	2219	2625	3442	5239
OUTRAS RECUPER.	0	0	0	325	413	616
GASOLINA	28	60	134	98	178	0
GLP	47	102	394	237	177	543
NAFTA	0	0	3	0	114	55
BALANÇO	-2	-14	-75	-68	-107	-285
BALANÇO (%) (*)	6,9%	5,1%	2,1%	0,9%	1,6%	-4,2%

(*) (Saída-Entrada)/Entrada

Na Figura 7 pode-se observar que, na maioria dos anos, o balanço energético não apresenta desvios acima do esperado, com exceção dos três últimos anos. Esta variação pode ser considerada importante e deve advir do uso de valores inadequados do poder calorífico no próprio balanço energético. Com efeito, o que se espera na representação gráfica é que variações devidas ao balanço energético sejam refletidas por curvas "paralelas" (mesma diferença). Já variações quanto ao conteúdo de carbono, refletir-se-iam numa aproximação ou afastamento entre as curvas. Este fenômeno (aproximação entre as curvas) parece estar ocorrendo na representação da figura em questão e pode ter como explicação a variação do conteúdo de carbono no gás úmido.

Balanços de Energia e de Carbono em Unidades de Processamento de Gás Natural

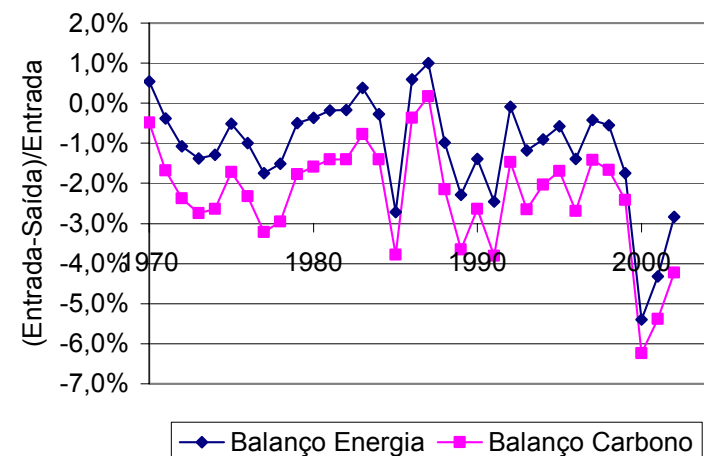


Figura 7: Balanços de carbono e de energia para UPGNs no Brasil, mostrando que alguns desvios do relativo ao carbono são atribuíveis a diferenças no de energia. Também parece existir um componente sistemático de defasagem dos dois balanços, que deve advir de coeficientes de carbono inadequados.

Em 2002 a quantidade de gás processada nas UPGNs (6,7 mil Gg) corresponde a 4,6% do total da massa de carbono dos combustíveis utilizados (oferta interna bruta) no Brasil. Erros da ordem de 6% (como os ocorridos em 2000) representam uma imprecisão de cerca de 0,3% no total. Como o gás natural é um combustível de importância crescente na matriz energética brasileira, seria necessário dar uma maior atenção ao assunto.^{xx}

Balanço de Carbono nas Coquerias

Nas coquerias, o carvão metalúrgico é convertido em coque (usado na fabricação do aço) em um processo de destilação sem a presença de oxigênio. Como subprodutos são gerados gases que são utilizados como combustível nas siderúrgicas, inclusive na própria

^{xx} No que se refere ao gás natural, foram identificados problemas de aparente inconsistência na diferença dos poderes caloríficos superior e inferior e o conteúdo de carbono esperado. Também chama a atenção a constância dos valores dos poderes caloríficos ao longo do tempo. Este valor deveria, em princípio, sofrer alterações com a variação da procedência do gás natural (produtos condensáveis à temperatura ambiente, nele contidos).

coqueificação e líquidos. Os balanços energético e de carbono estão mostrados na Tabela 5 para o ano de 2002.

Os gases constam no balanço como gás de coqueria e os líquidos como alcatrão. O BEN opta por alocar todo o consumo nas siderurgias (nada no setor energético). Na falta de coeficiente específico optou-se, no inventário, pelo uso do coeficiente 'default', que corresponde ao do petróleo. O mesmo coeficiente foi usado para o balanço de carbono.

O balanço de carbono para o ano de 2002 é, como seria de se esperar, negativo já que as perdas não são contabilizadas. Desvios de 6%, como observados no saldo dos balanços de carbono e de energia, evidenciam coeficientes inadequados ou erros de apuração da matéria prima ou produtos. Do ponto de vista de importância na determinação do carbono emitido, o processo envolve cerca de 7,4 milhões de toneladas de carbono que representa 4,7% da oferta interna bruta de carbono. Um erro de 6,3% no balanço de carbono significa um erro de 0,3% nas emissões. É bom lembrar que, pelo menos neste caso, as indicações são de que o erro está no próprio balanço energético,

Tabela 5: Balanços Energético e de Carbono nas Coquerias 2002

	ENERGIA	MASSA C	Massa C /Energia	
	mil tep	mil t (Gg)	tC/tep	tC/TJ
ENTRADA	6881	7431		
CARVAO MET.NAC.	63	68	1,080	25,8
CARVAO MET.IMP.	6819	7363	1,080	25,8
SAÍDA	6721	7901		
COQUE CARV.MIN	5126	6565	1,281	30,6
GAS DE COQUERIA	1366	1144	0,837	20,0
ALCATRAO	229	192	0,837	20,0
SALDO DO BALANÇO	-160	470		
SALDO DO BALANÇO (%)	-2,3%	6,3%		

Os saldos dos balanços de carbono, para anos escolhidos, são mostrados na Tabela 6. A evolução dos saldos em energia e carbono nas coquerias, no período 1970 / 2002, pode ser acompanhada na Figura 8 .

Tabela 6: Balanços de Carbono nas Coquerias em Anos Escolhidos

	1970	1980	1990	1994	1999	2002
ENTRADA	1714	4383	8143	8692	7492	7431
CARVAO MET.NAC.	496	1083	487	82	21	68
CARVAO MET.IMP.	1218	3300	7655	8609	7471	7363
SAÍDA	1740	4541	8114	8811	7780	7901
COQUE CARV.MIN	1426	3768	6745	7301	6441	6565
GAS DE COQUERIA	264	624	1144	1264	1130	1144
OUT.SEC. ALCATRAO	50	149	225	246	210	192
SALDO DOBALANÇO	26	158	-29	119	289	470
SALDO DOBALANÇO (%)	1,5%	3,6%	-0,4%	1,4%	3,9%	6,3%

Balanços Energético e de Carbono em Coquerias

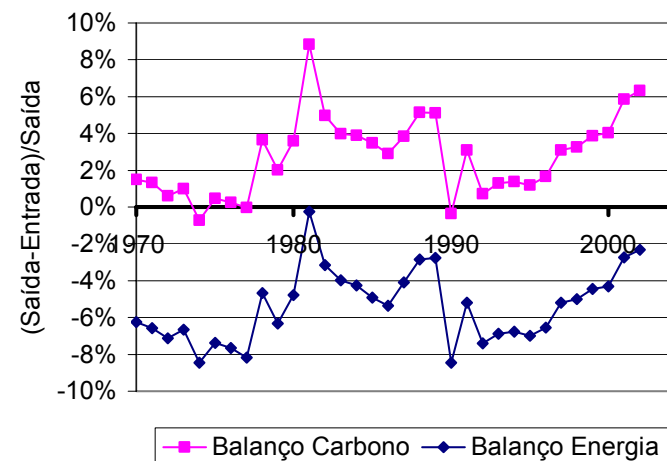


Figura 8: Os balanços de carbono mostram um erro sistemático na determinação do saldo de carbono, provavelmente devido a coeficientes inadequados de massa de C/energia. Os saldos de balanço também são importantes no energético, mas podem ser, pelo menos em parte, atribuídos a perdas.

Os dados da Figura 8 confirmam os problemas no balanço de carbono que seriam atribuíveis ao uso de coeficientes inadequados.

Balanco de Carbono nas Usinas de Gaseificação

O uso do gás canalizado estava, em 1970, praticamente restrito às cidades do Rio de Janeiro e São Paulo. O gás para distribuição na rede existente era produzido nas usinas de gaseificação. As matérias primas utilizadas em sua fabricação passaram, entre 1970 e 2002, da predominância de carvão mineral (em sua maior parte metalúrgico) para a nafta (derivada do petróleo) e finalmente para gás natural seco. A disponibilidade de gás natural para a distribuição fez com que, em 2002, restasse somente uma produção residual nestas usinas, que tende a desaparecer.

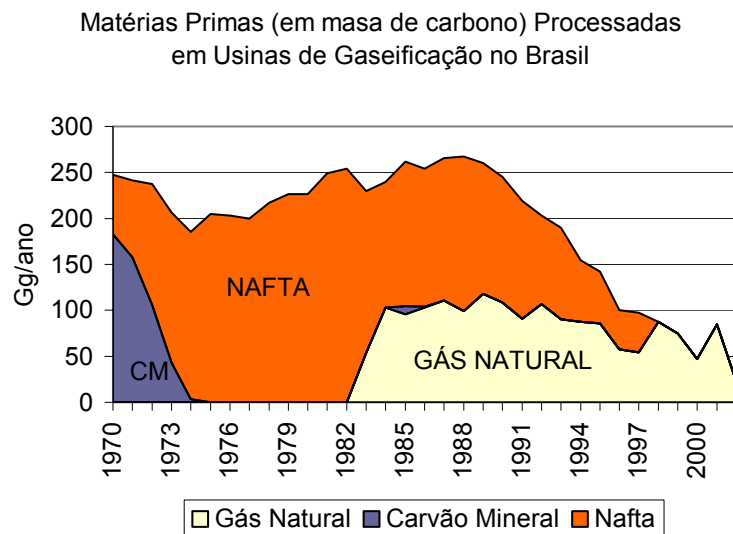


Figura 9: A matéria prima usada na produção de gás nas usinas de gaseificação passou do carvão mineral para nafta e desta para o gás natural. Com a disponibilidade deste último, as redes de distribuição passaram a usar gás natural seco e as usinas de gaseificação estão praticamente desativadas.

A Figura 10 mostra que o balanço de carbono é inteiramente insatisfatório podendo ser observados desvios superiores a 70% e de até 150%. A qualidade do balanço em energia também se deteriora ao longo do tempo.

Balancos de Energia e de Carbono em Usinas de Gaseificação

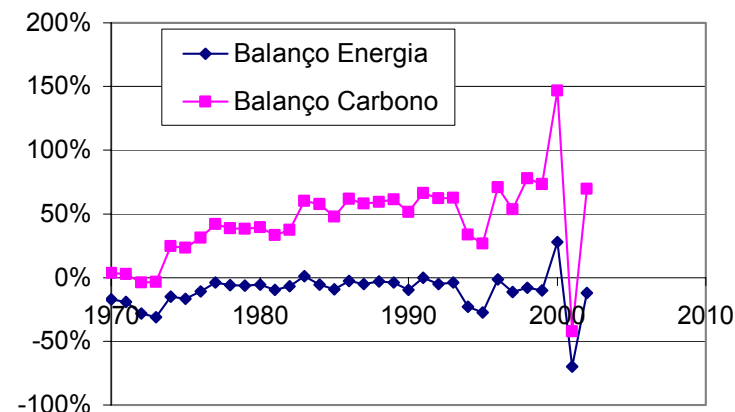


Figura 10: O balanço de carbono das usinas de gaseificação mostra saldos enormes ao longo do período, refletindo a má qualidade dos coeficientes usados. A evolução ao longo dos anos (ver figura anterior) faz supor que os coeficientes usados para a nafta e para o gás natural são piores que para o carvão mineral.

Os balanços de energia e de carbono são mostrados na Tabela 7 para o ano de 1990^{xxi}

Tabela 7: Balancos de Energia e de Carbono em Usinas de Gaseificação para o ano 1990

	ENERGIA	MASSA C		
	mil tep	mil t (Gg)	tC/tep	tC/TJ
ENTRADA	333	245		
Gás natural Seco	170	109	0,640	15,3
Carvão Mineral	0	0		
Nafta	163	137	0,837	20,0
SAÍDA	301	372		
GAS CIDADE	301	372	1,235	29,5
COQUE CARV.MIN	0	0		
SALDO DO BALANÇO	-32	126		
SALDO DO BALANÇO (%)	-9,7%	51,4%		

^{xxi} O ano de 2002, usado em casos anteriores, apresenta uma baixa quantidade de matéria prima tratada e de apenas um tipo (gás natural).

Examinando os coeficientes da Tabela 7, o que parece mais provável é que o gás produzido (gás de cidade) tenha mudado bastante sua composição quando mudou a matéria prima. O gás produzido a partir do carvão poderia conter monóxido de carbono, o que explicaria o alto valor do coeficiente utilizado. Quando esse gás foi substituído, para não mudar as características do gás distribuído, optou-se por empobrecer o gás gerado a partir da nafta e o gás natural seco. Se, por exemplo, o gás produzido a partir do gás natural resultar da adição de gás inerte, a razão massa de C / energia estaria muito mais próxima da referente ao gás natural (15,3 tC/TJ) do que da utilizada (29,5 tC/TJ), que seria adequada para um gás com alto teor de monóxido de carbono, para o qual este coeficiente estaria adequado.

Em 1990 a massa de carbono envolvida na transformação (entrada) seria de 245 Gg para uma oferta interna bruta de cerca de 120 mil Gg, correspondendo a 0,2% da massa do combustível utilizado. Um erro de 50% nessa avaliação corresponderia a 0,1% do total das emissões. Como se trata de um combustível em extinção, essa imprecisão na avaliação, embora incômoda do ponto de vista metodológico, terá impacto nulo nas emissões futuras. O impacto nas emissões passadas não deve ser muito superior ao apurado para 1990.

Balanco de Carbono nas Destilarias de Álcool

O setor álcool e a geração hidrelétrica são o carro chefe dos programas brasileiros de produção de energia renovável. Muito embora o CO₂ produzido pela biomassa não seja computado nas emissões geradoras de efeito estufa, o mesmo não acontece com as emissões de metano que são contabilizadas. Além disso, ao serem consideradas em equivalente de dióxido de carbono, usando as equivalências do Protocolo de Quioto (GWP – Potencial de Aquecimento Global), podem reduzir significativamente o impacto atribuído ao uso do álcool. O balanço de carbono neste tipo de unidade é relevante na demonstração da política brasileira para atenuar o efeito estufa.

O balanço de carbono das usinas de álcool para 2002 é mostrado na Tabela 8 e apresenta um saldo negativo de 27% em massa de carbono. O mesmo acontece para os anos selecionados, como pode ser visto na Figura 11 e na Tabela 9.

Tabela 8: Balanço de Energia e Carbono nas Destilarias em 2002

	ENERGIA	MASSA C		tC/TJ
	mil tep	mil t (Gg)	tC/tep	
ENTRADA	6701	5609		
CALDO DE CANA	4797	4016	0,837	20,0
MELACO	1904	1594	0,837	20,0
OUTRAS RECUPER.	0	0		
SÁIDA	6586	4083	0,620	
ALCOOL ANIDRO	3759	2330	0,620	14,8
ALCOOL HIDRAT.	2828	1753	0,620	14,8
SALDO DO BALANÇO	-115	-1527		
SALDO DO BALANÇO (%)	-1,7%	-27,2%		

Era de se esperar que nas destilarias houvesse um saldo negativo no balanço, uma vez que o vinhoto, que contém compostos orgânicos, não entra no balanço. Como esse rejeito pode ter uma contribuição às emissões, inclusive de metano, seria conveniente incluí-lo no balanço de carbono.

Por outro lado, os coeficientes de emissão usados para o caldo de cana e para o melaço basearam-se em valores genéricos recomendados para fontes de biomassa na metodologia do IPCC. Também os coeficientes do álcool anidro e hidratado – usados na abordagem “Top-Down” do inventário – basearam-se no fator de emissão médio da frota nacional, calculado a partir de medidas da CETESB em veículos.

Tratando-se de composto de composição conhecida, o fator de emissão – que relaciona a massa de carbono com a energia – pode ser obtido com boa aproximação a partir da composição do álcool.^{xxii} O uso deste fator, baseado no álcool etílico puro, “fecharia” o balanço com melhor aproximação.

^{xxii} Para o álcool etílico, o valor de “handbok” do poder calorífico inferior (PCI) é 6621 kcal/kg ou 0,027712 TJ/t. Isto corresponde, para o álcool etílico, 36,085 t/TJ. Tratando-se do composto C₂H₅OH, tem-se 24/46 x 36,085 tC/TJ ou 18,8 tC/TJ. O valor do PCI fornecido pelo BEN para o álcool anidro é 6750 kcal/TJ, que daria 18,5 tC/TJ

Balancos Energético e de Carbono de Destilarias de Alcool

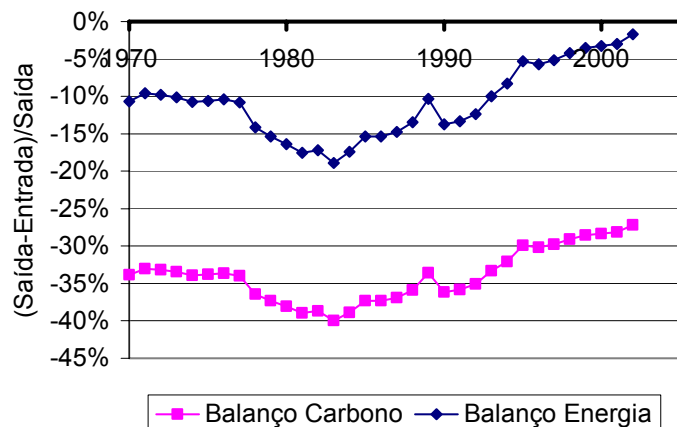


Figura 11: Saldo do balanço de energia e de carbono para as destilarias, que apresenta para o carbono um grande déficit no produto formado.

Tabela 9: Balanço de Massa de Carbono em Destilarias para Anos Selecionados

	1970	1980	1990	1994	1999	2002
ENTRADA	304	1928	5718	5885	5872	5609
CALDO DE CANA	68	1498	5009	4970	4464	4016
MELACO	235	410	675	884	1409	1594
OUTRAS RECUPER.	0	19	33	32	0	0
SAÍDA	201	1194	3652	3995	4194	4083
ALCOOL ANIDRO	77	720	281	926	2043	2330
ALCOOL HIDRAT.	124	474	3371	3069	2151	1753
SALDO DO BALANÇO	-103	-734	-2066	-1890	-1678	-1527
SALDO DO BALANÇO (%)	-33,8%	-38,1%	-36,1%	-32,1%	-28,6%	-27,2%

A cana de açúcar - sem contar pontas e folhas - é hoje a segunda maior fonte de energia primária pelos critérios do BEN, correspondendo a 13% em energia, tendo superado a lenha e a energia hídrica (correspondência calorífica). A participação em massa de carbono é ainda maior (18% do total). O tratamento do balanço de carbono (e do de energia) deveria, em futuras abordagens, merecer atenção especial.

Demais Centros de Transformação

Nos demais centros de transformação (carvoarias e centrais elétricas), as emissões de gases lançados na atmosfera são contabilizadas nas próprias unidades e é necessária sua quantificação para estabelecer o balanço de carbono. Isto será mostrado em um próximo número desta revista, juntamente com os setores de consumo.

Conclusão

O balanço de carbono dos centros de transformação revelou-se muito útil na detecção de problemas na apuração das emissões de gases de carbono. Os problemas mais importantes detectados se encontram na área de biomassa especialmente na produção de álcool. Para o álcool existe, além disso, um aparente erro no teor de carbono utilizado no inventário brasileiro que considera apenas o do CO₂ emitido.

Os coeficientes usados na primeira apuração do inventário nacional, foram em sua maioria, coeficientes genéricos para biomassa sólida ou biomassa líquida. Devido a importância do setor álcool na matriz energética brasileira um tratamento mais preciso seria desejável. Note-se que, não obstante as emissões de CO₂ não serem contabilizadas, as de metano o são e podem, por exemplo, reduzir o eventual crédito de carbono pelo uso do álcool motor. Os balanços de carbono e energético nas refinarias apresentam bons resultados não obstante a grande variação na composição dos derivados de petróleo no Brasil após o choque dos preços de petróleo de 1979.

Como a energia não se conserva nos centros de transformação em virtudes de perdas inerentes aos processos, não existe no Balanço Energético a apuração sistemática do balanço de energia nestes centros. No entanto, para alguns deles (onde o consumo é computado no setor energético) existem aparentes falhas nos coeficientes que podem ser corrigidas em edições futuras. Um exemplo disto é o uso do mesmo coeficiente energia/volume para o gás natural úmido em anos diferentes apesar do percentual de produtos líquidos obtidos nas UPGN serem diversos.

A Revista

Economia e Energia* – *e&e* – *Economy and Energy

e&e é uma revista bimensal e bilíngüe editada desde 1997 na Internet e, a partir do 2003, em formato impresso. Seu objetivo é divulgar trabalhos e promover debates sobre temas relacionados ao seu título. Para sua manutenção, a revista tem contado com o suporte de seus membros e com o apoio institucional de entidades públicas ou privadas. Quando existente, este apoio é indicado por chamadas institucionais na publicação. Seu editor chefe é Carlos Feu Alvim [feu@ecen.com].

A Organização Não Governamental

***Economia e Energia* *e&e* – ONG**

Economia e Energia – ONG é uma sociedade sem fins lucrativos que foi constituída para dar sustentação à revista do mesmo nome e para promover estudos sobre os temas relacionados à economia e energia. No caso de estudos para entidades governamentais ou privadas ela contrata individualmente consultores ou empresas de consultoria para a realização das tarefas. Também pode atuar em convênio com entidades públicas ou privadas. Seu superintendente é Frida Eidelman [frida@ecen.com].

Rio: Av. Rio Branco, 123 Sala 1308 Centro CEP 20040-005
Rio de Janeiro RJ Tel (21) 2222-4816 Fax 22224817
BH: Rua Jornalista Jair Silva, 180 Bairro Anchieta CEP 30310-290
Belo Horizonte MG Tel./Fax (31) 3284-3416
Internet :http://ecen.com

Editor Gráfico: Marcos Alvim