



Acc4emic

INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN CLEANER PRODUCTION

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

Inconsistências Metodológicas em Estimativas de Emissões de Gases do Efeito Estufa na Matriz Elétrica Brasileira

MEDEIROS, D. L. ^{a,*}, OLIVA, S. T. ^a, KIPERSTOK, A. ^a

a. Universidade Federal da Bahia

**Corresponding author, diegomedeiros350@gmail.com*

Resumo

A preocupação com as mudanças climáticas está movendo ações tanto na adaptação aos possíveis desastres que poderão ocorrer quanto na mitigação das emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE). A fim de controlar tais emissões faz-se necessário, primeiramente, mensura-las de maneira precisa. No presente trabalho analisou o conceito de pegada de carbono, os fatores de emissão de GEE resultante do setor de geração e distribuição de energia elétrica do país disponível na literatura, a diferença entre escopos de análise e suas implicações práticas. Dependendo do escopo de análise adotado o fator de emissão variou consideravelmente, e dentro do mesmo escopo também houve variações. Quanto à abordagem de escopo, concluiu-se que ambas são necessárias: o Escopo 1 é indicado para a gestão ambiental de empresas e o Escopo 3 para a elaboração da rotulagem ambiental de produtos. Por outro lado, verificou-se a necessidade de transparência com relação à fonte de dados ou a base de cálculo usados em alguns casos e da discriminação do método adotado, se Escopo 1, 2 ou 3.

Palavras-chave: Gases do Efeito Estufa, Pegada de Carbono, Energia elétrica, Escopo, Avaliação do Ciclo de Vida.

1. Introdução

O relatório da quarta avaliação do Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas (IPCC, 2007) reafirma que as emissões de Gases do Efeito Estufa (GEE) advindas das atividades humanas são apontadas como a principal causa do aquecimento global. Cada GEE têm um Potencial de Aquecimento Global (PAG) próprio. O PAG do dióxido de carbono é utilizado como indicador da categoria de impacto em GEE, sendo assim, todos os outros GEE são convertidos para equivalentes de dióxido de carbono (CO₂e) através dos fatores de conversão dados pelo IPCC (IPCC, 2007). Na contabilização das emissões de Gases de Efeito Estufa (GEE) de um estabelecimento, produto ou serviço são elaborados inventários a fim de levantar todas as emissões relacionadas a uma unidade de referência em estudo – tonelada de produto, quantidade de energia ou prestação de serviços – que resulta numa emissão final dada em massa de CO₂.

Um inventário de emissões pode ter diferentes abrangências de escopos. Eles são divididos em três tipos: Escopo 1, Escopo 2 e Escopo 3. O Escopo 1 contempla apenas a quantificação das emissões diretas de uma unidade de processo. As emissões relacionadas à aquisição de energia, que ocorrem fora dos limites da unidade analisada, a exemplo da aquisição de energia elétrica, são contabilizadas como Escopo 2. O Escopo 3 contabiliza todas as outras emissões indiretas realizada por terceiros e que de alguma forma se relaciona com o processo ou produto analisado (GHG Protocol Brasil, 2010). A

“INTEGRATING CLEANER PRODUCTION INTO SUSTAINABILITY STRATEGIES”

São Paulo - Brazil - May 22nd to 24th - 2013

abordagem de inventário de Escopo 3 considera fontes importantes que estão ao longo da cadeia de valor. A norma ISO 14040/44 (2009) usa o conceito de Ciclo de Vida e orienta a condução de avaliações que fazem uso da abordagem de Escopo 3. Contudo na prática ainda existem algumas discordâncias no uso dessa abordagem, na confiabilidade dos dados ou nos métodos de avaliação de impactos para uma mesma categoria. Pelo fato da elaboração de inventários se estenderem por muito tempo e consequentemente despendem recursos financeiros alguns países optaram por elaborar suas bases de dados para inventários que dão suporte, principalmente, a elaboração de inventários tipo Escopo 2 e 3.

A Inglaterra desenvolveu uma metodologia específica para a elaboração de estudos de Ciclo de Vida da emissão de Gases de Efeito Estufa, denominada PAS 2050, baseada nas ISO 14040¹ e 14044² e que oferece um guia prático para empresas de diversos setores conduzirem estudos de avaliação do ciclo de vida das emissões de GEE de seus produtos e serviços (BSI-PAS 2050, 2011). Algumas iniciativas como a do *World Business Council for Sustainable Development* (WBCSD) em conjunto com o *World Resources Institute* (WRI), instituições que desenvolveram a metodologia do GHG Protocol, desenvolveram duas normas: uma para inventário de GEE de produto e outra para inventário de GEE corporativo denominadas *Product Life Cycle Accounting and Reporting Standard* e *A Corporate Accounting and Reporting Standard: Guidelines for Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting*, a fim de atender melhor a necessidade de quantificação do Escopo 3. A *International Organization for Standardization* (ISO) está trabalhando na versão final da norma internacional ISO 14067 para Pegada de Carbono de Produtos.

Um dos fatores de emissão mais usados na construção de inventários de GEE é o de consumo de energia elétrica, que no caso do Brasil é representado pelo Sistema Interligado Nacional (SIN). O SIN reflete a matriz elétrica nacional com a parcela de cada uma das fontes de geração de energia elétrica consumidas no país, Figura 1.

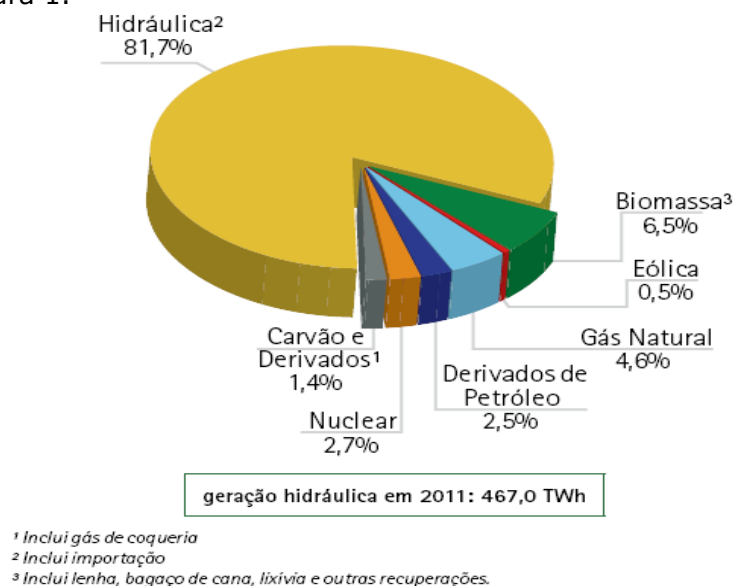


Figura 1 – Matriz elétrica brasileira em 2011 (BEN, 2012).

O BEN (2012) alega que a energia elétrica representa aproximadamente 18% da matriz energética brasileira. Crescimento do consumo total de eletricidade foi superior ao crescimento do consumo total de energia, isso demonstra uma tendência de eletrificação da matriz energética nacional.

Os fatores de emissão de CO₂ ou GEE do consumo de energia elétrica são utilizados nas quantificações do Escopo 2, mandatórias em inventários de GEE segundo do GHG Protocol Brasil (2010), devendo ser transparentes e exatos para garantir a qualidade no inventário.

¹ ISO 14040:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework.

² ISO 14044:2006 Environmental management – Life cycle assessment – Requirements and guidelines.

Portanto o objetivo geral desse trabalho foi avaliar os resultados das emissões de Gases de Efeito Estufa da matriz elétrica brasileira. Foram identificadas diversas fontes de dados disponíveis e analisado os métodos de elaboração de inventários e avaliação de impacto de cada resultado.

2. Métodos

Foram levantadas informações conceituais sobre emissões de Gases de Efeito Estufa, dados disponíveis sobre as emissões de CO₂ da matriz elétrica brasileira referente ao Escopo 1, diferentes fontes de inventários de GEE da eletricidade consumida no Brasil na perspectiva de Ciclo de Vida ou Escopo 3, e algumas calculadoras de carbono da internet. Posteriormente discutiu-se a respeito da qualidade e transparência dos dados, métodos utilizados e aplicações pretendidas.

3. Resultados

Segundo a pesquisa realizada por Wiedmann et al. (2007) sobre os estudos que lidam com a questão de quanto gás carbônico é atribuído a um produto, companhia ou organização, houveram discordâncias conceituais a respeito do termo pegada-de-carbono. Na maioria dos casos o termo é usado como um genérico sinônimo para emissões de GEE expressa em dióxido de carbono equivalente (CO₂e). Abaixo segue algumas definições de 'pegada de carbono':

Tabela 1. Comparação entre diferentes conceitos da 'pegada de carbono'.

Fonte: Adaptado de Wiedmann et al. (2007).

Grub & Ellis (2007)	"A pegada de carbono é uma medida da quantidade total de dióxido de carbono emitida através da combustão de combustíveis fósseis."
Energetics (2007)	"...é a medida completa de emissões diretas e indiretas de CO ₂ causada pelas suas atividades de negócio."
ETAP (2007)	"...a 'Pegada de Carbono' é uma medida de impacto que as atividades humanas causam no meio ambiente em termos da quantidade de gases de efeito estufa produzidos, medido em toneladas de carbono."
PAS2050 (2008)	"A pegada de carbono é o valor total de gás carbônico e outros gases de efeito estufa emitidos durante todo o ciclo de vida de um produto ou serviço. Ela é expressa em CO ₂ equivalente ."

Os fatores de emissão de GEE são originados a partir de inventários. A depender da abordagem utilizada o resultado da emissão de uma mesma unidade funcional, por exemplo, gramas de CO₂/kWh de energia elétrica pode variar significativamente.

O Programa Brasileiro GHG Protocol (GHG Protocol Brasil, 2010) principal referência para calcular inventários de GEE corporativos no país sugere o uso do fator de emissão do consumo de energia elétrica fornecido pelo Ministério de Ciência e Tecnologia. A Tabela 2 mostra os resultados do fator de emissão em gramas de CO₂ por kWh de energia elétrica para os últimos seis anos.

Tabela 2. Fatores de Emissão do consumo de energia elétrica no Brasil.

Fonte: MCT, 2013.

Ano	g CO ₂ /kWh
2007	29
2008	48
2009	25
2010	51
2011	29
2012	69

Os valores da Tabela 2 representam as emissões do Sistema Interligado Nacional, ou seja, da geração e distribuição de energia elétrica no país. Por outro lado, a Empresa de Pesquisa Energética divulgou para o ano de 2011 no seu Balanço Energético Nacional (BEN, 2012) as emissões na produção de energia elétrica, conhecida como intensidade de carbono, na economia brasileira no valor de 56 g

CO₂/kWh. Percebe-se que ambos os fatores são dados apenas em função de CO₂. Caso representassem todos os GEEs deveriam estar em CO₂e.

Algumas rotulagens ambientais e esquemas de controle e transação de emissões de GEE são mais criteriosos e exigem também a abordagem das emissões do Escopo 3 nos inventários de GEE, levando em conta todo o ciclo de vida do produto. O primeiro modelo a expressar as emissões provenientes da geração e distribuição de energia elétrica no Brasil em termos de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) foi Coltro et al. (2003) e resultou num fator de emissão de 124 g de CO₂e/kWh, incluindo o CO₂ renovável como biogênico, ou seja, sem impacto para o aquecimento global. Incluindo o CO₂ renovável na conta obtêm-se um resultado de 184 g CO₂e/kWh.

Um grupo de excelência em Análise do Ciclo de Vida da Universidade de Stuttgart na Alemanha compilou um inventário de GEE para a energia elétrica consumida no Brasil. O inventário denominado *dataset BR: Power grid mix* representa o ciclo de vida de todas as fontes que compõe a matriz elétrica brasileira, a distribuição e as perdas até a entrega dessa energia ao usuário. São consideradas também a energia consumida pelas próprias usinas e as importações. O resultado médio do fator de emissão desse inventário foi de 745 g CO₂e/kWh visto que houve uma pequena variação a depender do método utilizado, Tabela 3.

Tabela 3. Emissões de GEE da energia elétrica consumida no Brasil numa perspectiva de ciclo de vida. Fonte: GaBi Database, 2008 no GaBi 6, 2013.

BR: Power grid mix PE	g CO ₂ e/kWh
IPCC	764
CML2001 - Nov. 2010, Global Warming Potential (GWP 100 years)	718
ReCiPe 1.07 Midpoint (H) - Climate change	765
TRACI 2.0, Global Warming Air	718
TRACI 2.0, Global Warming Air, excl biogenic carbon	765
IPCC global warming, excl biogenic carbon	765
IPCC global warming, incl biogenic carbon	718
Média	745
Desvio Padrão (+-)	25

O Ecoinvent no Simapro 7.3 também considera o Ciclo de Vida do consumo elétrico brasileiro. Ele distingue-os entre baixa, média e alta voltagem. São contabilizadas as cadeias de produção dos insumos, infra-estrutura, transporte e as importações da Argentina e do Paraguai. O resultado obtido para as emissões médias de GEE do Brasil foram de 285 g CO₂e/kWh.

Tabela 4. Emissões de GEE da energia elétrica de baixa voltagem consumida no Brasil numa perspectiva de ciclo de vida.

Fonte: Ecoinvent v2.2 no Simapro 7.3, 2013.

Electricity, low voltage, at grid/BR S	g CO ₂ e/kWh
IPCC 2007 GWP 100a V1.02	283
Greenhouse Gas Protocol V1.01 / CO ₂ eq (kg)	290
CML 2001 (all impact categories) V2.05 / World, 1990	279
IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+	248
EDIP 2003 V1.02 / Default	279
ReCiPe Midpoint (E) V1.05 / World ReCiPe E	241
ReCiPe Midpoint (H) V1.05 / World ReCiPe H	283
ReCiPe Midpoint (I) V1.05 / World ReCiPe I	396
EPD (2008) V1.03	279
BEES V4.02	278
TRACI 2 V3.03	279
Média	285
Desvio Padrão (+-)	40

Por fim verificou-se o atual estado na prática de compensação das emissões de GEE. Tomou-se como base as calculadoras de carbono da internet. A Fig. 1 mostra os resultados das emissões de GEE dos diversos mecanismos de cálculo da pegada-de-carbono da matriz elétrica brasileira.

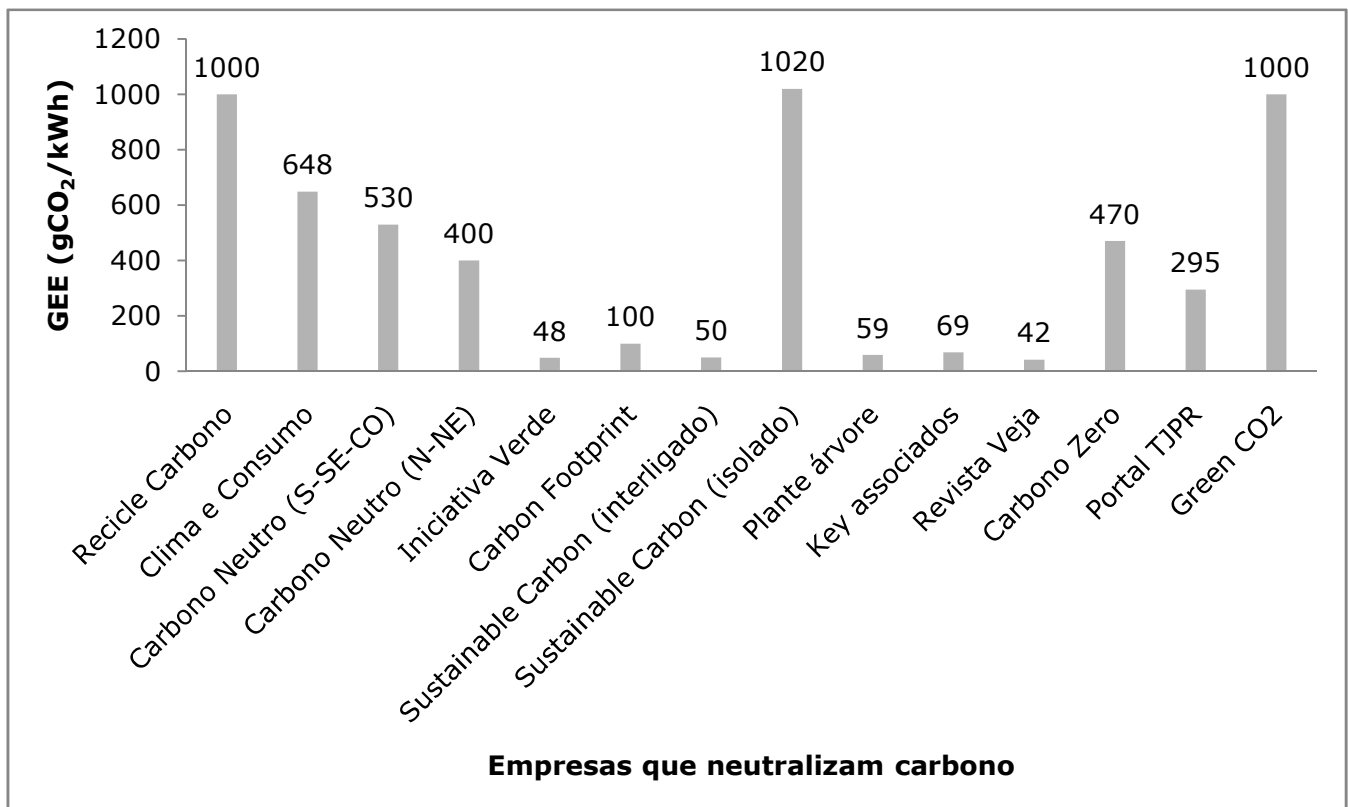


Fig. 1. Resultado da pegada-de-carbono do setor elétrico brasileiro resultante de diferentes calculadoras de carbono da internet em 2013.

Fonte: Ver em referências.

4. Discussão

A grande variação nos resultados das emissões de GEEs de um mesmo produto (1 kWh de energia elétrica) pode ser aferida a falta do uso padronizado de uma mesma metodologia na modelagem de cada inventário, como no exemplo das divergências conceituais mostradas na Tabela 1.

Entende-se que os fatores de emissão do MCT, Tabela 2, são baseados apenas em dióxido de carbono fóssil do tipo Escopo 1. Houve divergências entre o fator de emissão do MCT e da EPE para o mesmo ano. Isso demonstra o quão sensível é a modelagem e extensão do escopo e a inclusão dos GEEs em análise. É perceptível que a expansão do inventário tipo Escopo 1 para o Escopo 3 causou um aumento significativo no fator de emissão.

As emissões do inventário de Escopo 3 também variam dependendo dos seus limites e suposições adotadas, como foi visto nos resultados de Coltro et al. (2003) do Gabi (2008) e do Ecoinvent (2010). Supõe-se que tais variações são advindas de diferenças nos inventários das hidrelétricas, visto que comparando os inventários das matrizes americanas nas principais bases de dados (ex. GaBi, Ecoinvent e USLCI) na qual é predominantemente fóssil, os resultados foram bem próximos. Isso significa que a tecnologia fóssil é mais conhecida e a modelagem das emissões de hidroelétricas é mais sujeita a incertezas. Foi entendido que a abordagem de Escopo 3 consegue expressar melhor os impactos indiretos das emissões dos GEE de um produto ou unidade de produção. Ainda assim ela carece de definições dos seus limites. Quanto aos métodos de avaliação de impacto dos GEE, Tabelas 3 e 4, alguns seguem as recomendações do IPCC (2007) a risca enquanto outros incluem o dióxido de carbono de fonte renovável ou usa algum outro critério de inclusão ou exclusão de GEE que causa

diferenças nos resultados.

É notória a grande variação entre as fontes consultadas das calculadoras de carbono. A falta do uso padronizado de uma metodologia de cálculo das emissões de GEE abre margem a variações nos resultados de um “mesmo” fator. A falta de transparência no cálculo das Calculadoras de Carbono da Internet impediram maiores interpretações. As diferenças nos resultados dos fatores de emissão da Fig. 1 podem significar implicações práticas, como por exemplo, a venda superestimada de créditos de carbono ou restrições mercadológicas externas a produtos brasileiros supostamente intensivos em energia elétrica na sua produção.

5. Conclusão

A contabilização das emissões do Escopo 3 significam um grande avanço no suporte a tomada de decisão mais sustentável, pois ela contabiliza as emissões que foram negligenciadas pelo Escopo 1 trazendo mais robustez aos inventários de GEE e melhor entendimento dos impactos ambientais de cadeias de produção de produtos e serviços para o usuário. Isso não significa que uma abordagem seja melhor do que a outra, elas atendem necessidades distintas. O Escopo 1 é mais destinado a gestão ambiental do setor produtivo enquanto o Escopo 3 é utilizado em políticas ambientais de produtos.

A utilização da abordagem de Escopo 3 é uma forma de fomentar o pensamento do Ciclo de Vida pelas empresas e promover uma visão mais holística da sustentabilidade na cadeia de valor. Visto que as próximas normas de quantificação de inventários de GEE requisitarão também as emissões do Escopo 3, é preciso que o Brasil forneça novos fatores de emissão além de um inventário de insumos básicos que atendam aos novos requisitos a fim de prevenir futuros riscos estratégicos ou restrições ambientais e consolidar o seu mercado de carbono. As emissões de GEE devem ser fornecidas com a discriminação do tipo de escopo e extensão do inventário, pois a falta de transparência nos modelos de alguns resultados impediram maiores interpretações.

As questões levantadas nesse estudo trazem implicações tanto para políticas de controle quanto para a credibilidade do mercado de carbono. O Brasil tem a vantagem de possuir uma das matrizes elétricas mais limpas do mundo, a qual reflete nas emissões de carbono dos seus produtos. Isso pode representar um diferencial competitivo em um mercado cada vez mais exigente e que busca uma economia de baixo carbono.

Referências

- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14040:2009 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. (ISO 2006)
- Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) NBR ISO 14044:2009 – Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações. (ISO 2006)
- Balanco Energético Nacional (BEN), 2012. Resultados Preliminares ano base 2011. Disponível em https://ben.epe.gov.br/downloads/Resultados_Pre_BEN_2012.pdf, Acessado em 18 de Março de 2013.
- BSI PAS:2050, 2011. How to carbon footprint your products, identify hotspots and reduce emissions in your supply chain. BSI copyright, 2011. Disponível em www.bsi-global.com/PAS2050, Acessado em 18 de Março de 2013.
- Coltro, L., Garcia, E. C., Queiroz, G. de C., 2003. Life Cycle Inventory for Electric Energy System in Brazil. *Int J Life Cycle Assess* 8 (5) 290-296 2003.
- Ecoinvent v2.2, 2010. Base de dados de suíça de Inventários de Ciclo de Vida. Ecoinvent database v2.2. Disponível em www.ecoinvent.org, Acessado em 14 de Março de 2013.
- Frischknecht, R., Tuchschnid, M., Faist Emmenegger M., Bauer C., Dones R., 2007. Strommix und Stromnetz. In: *Sachbilanzen von Energiesystemen: Grundlagen für den ökologischen Vergleich von Energiesystemen und den Einbezug von Energiesystemen in Okobilanzen für die Schweiz* (ed. Dones R.). Ecoinvent report No. 6, v2.0. Paul Scherrer Institut Villigen, Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Duebendorf, CH, Online-Version under: www.ecoinvent.ch. Obs: o ano de referência da matriz elétrica BR usado foi 2004.
- GaBi 6, 2013. Software and Database for Life Cycle Engineering. BR:Power grid mix (2008). PE

INTERNATIONAL GmbH, Stuttgart, 2008. Disponível em http://gabi-dataset-documentation.gabi-software.com/xml_data/processes/ceb36eee-1612-4101-81a8-0fb8aeac9032_05.00.000.xml, Acessado em 14 de março de 2013.

GHG Protocol Brasil, 2010. Especificações do Programa Brasileiro GHG Protocol: Contabilização, Quantificação e Publicação de Inventários Corporativos de Emissões de Gases de Efeito Estufa. Execução FGV CES (Centro de Estudos em Sustentabilidade) e WRI (World Resources Institute), 2010. Disponível em <http://www.ghgprotocolbrasil.com.br>, Acessado em 18 de Março de 2013.

GHG Protocol, 2011. Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard Supplement to the GHG Protocol Corporate Accounting and Reporting Standard. Disponível em <http://www.ghgprotocol.org/standards>, Acessado em 18 de Março de 2013.

IPCC (Painel Intergovernamental de Mudanças Climáticas) 2007. Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing, Chapter 2, p. 212. Disponível em <http://www.ipcc.ch>, Acessado em 27 de maio de 2009.

MCT (Ministério de Ciência e Tecnologia) 2013. Fatores de Emissão de CO₂ para utilizações que necessitam do fator médio de emissão do Sistema Interligado Nacional do Brasil, como, por exemplo, inventários corporativos. Disponível em <http://www.mct.gov.br/index.php/content/view/321144.html#ancora>, Acessado em 14 de fevereiro de 2013.

Wiedmann, T., Minx, J., 2007. A definition of 'carbon footprint'. ISAUK Research & Consulting, Junho de 2007. Disponível em www.censa.org.uk/reports.html, Acessado em 15 de maio de 2009.

Calculadoras de carbono consultadas da internet

Recicle Carbono	http://www.reciclecarbono.com.br
Clima e Consumo	http://www.climaeconsumo.org.br/calculadora.html
Carbono Neutro (S-SE-CO)	http://www.carbononeutro.com.br/
Carbono Neutro (N-NE)	http://www.carbononeutro.com.br/
Iniciativa Verde	http://www.iniciativaverde.org.br/pt/calculadora
Carbon Footprint	http://www.carbonfootprint.com/calculator.aspx
Sustainable Carbon (interligado)	http://www.sustainablecarbon.com/calculator/calc_house.aspx
Sustainable Carbon (isolado)	http://www.sustainablecarbon.com/calculator/calc_house.aspx
Plante árvore	http://plantearvore.com.br/
Key associados	http://www.keyassociados.com.br/
Revista Veja	http://veja.abril.com.br/complementos-materias/calculadora-aquecimento/info-popup.shtml
Carbono Zero	http://www.carbono-zero.com/calculadora_diaadia.php
Portal TJPR	http://portal.tjpr.jus.br/web/gestaoambiental/calculadora-co2
Green CO2	http://www.greenco2.net/calculadora.html

Agradecimentos

Essa pesquisa foi possível graças ao Programa Institutos Nacionais de Ciência e Tecnologia (INCT) do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq/MCT) e a CAPES pelas bolsas de estudo, a ACVBrasil em nome da Pré Consultants pela concessão da licença educacional do Simapro, o Ecoinvent pela concessão da licença da sua base de dados e ao professor Armando Caldeira-Pires da Universidade de Brasília pela concessão dos resultados atualizados do *GaBi Database* pois a nossa licença desse programa havia expirado.