

AValiação DAS EMISSões DE GASES DE EFEITO ESTUFA PARA O CONSUMO DE LENHA NO NORDESTE BRASILEIRO

Luiz Moreira Coelho Junior¹, Kalyne de Lourdes da Costa Martins¹, Monica Carvalho¹

¹*Centro de Energias Alternativas e Renováveis da Universidade Federal da Paraíba. E-mail: luiz@cear.ufpb.br, kalyne_lourdes@hotmail.com; monica@cear.ufpb.br*

Resumo: A lenha é bastante utilizada em regiões em desenvolvimento, principalmente para fins de energia primária. A lenha no Nordeste brasileiro é caracterizada como um produto relevante para esta região. Logo, este artigo avaliou as emissões de CO₂-eq associadas à queima de 1 m³ de lenha para os segmentos do extrativismo e silvicultura, além de extrapolar para os estados nordestinos. Para uma melhor análise, foram também mensuradas as emissões de CO₂-eq per área (km²). A metodologia da Avaliação de Ciclo de Vida foi aplicada, utilizando-se o método de avaliação de impacto IPCC (2013). Os resultados obtidos se mostraram próximos. O extrativismo apresentou-se como mais poluente comparativamente a silvicultura. O processo da queima de 1 m³ de lenha no extrativismo emitiu 16 kg CO₂-eq. Na silvicultura, o processo foi responsável por 10 kg CO₂-eq. Na silvicultura, em 1994, o maior emissor per área em kg CO₂-eq foi o Rio Grande do Norte. Em 2013, o maior emissor per área foi o estado da Bahia. No Extrativismo, em 1994, o maior emissor per área em kg CO₂-eq foi o Rio Grande do Norte. Em 2013, o maior emissor per área foi o Ceará.

Palavras-chave: biomassa florestal, avaliação de ciclo de vida, emissões CO₂.

INTRODUÇÃO

A evolução do consumo mundial de energia com base nos combustíveis fósseis torna a matriz energética insegura e cara, além de gerar impactos ambientais, por exemplo, como o aumento das emissões de gases de efeito estufa (GEE) para a atmosfera. Isto faz com que os países busquem alternativas de aproveitamento de fontes energéticas, inclusive da madeira (MUNIZ, 2002; BRITO, 2007; MOREIRA, 2011).

Atualmente, o uso da lenha apresenta relação com o nível de desenvolvimento do país, a disponibilidade de florestas, questões ambientais e a competição econômica com outros tipos de fontes de energia. Em regiões tropicais, principalmente, nos países em desenvolvimento, a utilização da madeira para fins energéticos é um importante suprimento de energia primária seja uso doméstico e, ou, industrial (BRITO, 2007).

No Brasil, a lenha é uma importante fonte energética e possui uma das maiores participações de fontes renováveis no mundo. Para a Empresa de Pesquisa Energética - EPE (2014), 41% da Matriz Energética Brasileira é oriunda de fontes renováveis, sendo 8,3% proveniente de lenha e carvão vegetal. Um dos problemas relacionados ao uso dos recursos florestais é a expansão da fronteira agrícola e aglomeração das cidades. À exploração indiscriminada e exacerbada destes recursos, as queimadas provocam um crescimento da concentração de gases poluentes, fazendo com que ocorra uma menor assimilação do carbono; tendo em vista a redução da massa fotossinteticamente viva. Outro impacto do desmatamento é o efeito na mudança dos regimes hidrológicos causados pelos processos erosivos e, em regiões semiáridas, a desertificação. Além dos impactos associados ao desmatamento, observam-se as ameaças que as mudanças climáticas representam para o planeta diante de um possível aumento de temperatura global em 2°C. Logo, os esforços de mitigação dos efeitos dos gases de efeito estufa não devem ser economizados (FEARNSIDE, 2005; CAMPELLO, 2011).

No Nordeste brasileiro, desde o processo de ocupação do solo, a lenha foi a principal fonte energética. O uso tradicional da lenha cresceu, juntamente, com a população regional até meado do século XX. Com os Planos Nacionais de Desenvolvimentos (PND's) e as crises do petróleo, por meio das políticas públicas em energia incentivaram a redução/substituição do uso de hidrocarbonetos. As indústrias reduziram e, ou abandonaram a utilização de óleo e diesel, substituindo-os por outras fontes mais limpas, por exemplo, a lenha e carvão vegetal. Tais políticas de substituição de energia aliadas ao crescimento urbano, aumentou a demanda por materiais da construção civil (tijolos, telhas, cal, cimento) provocando um aumento no consumo de lenha e carvão vegetal (COELHO JUNIOR, 2010).

No início dos anos 1990, 35% da energia primária consumida no Nordeste foi oriunda destas fontes. Atualmente, o consumo de lenha e carvão continua mais ou menos constante, a exemplo da Paraíba, e sua participação na matriz energética ainda é significativa. Logo, é possível verificar a importância do uso da

lenha, principalmente, na região Nordeste brasileiro. Dentre outros fatores, é recurso energético social devido a sua disponibilidade (CAMPELLO *et al.*, 1999; PARAÍBA, 2004).

Diante das preocupações ambientais, a Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia para mensuração dos impactos ambientais, desde a extração da matéria-prima até sua destinação final, passando pelas etapas de produção, distribuição e consumo. Pode ser utilizada para desenvolvimento e melhoria do produto, definição de planejamentos estratégicos e políticas públicas, bem como gestão de impactos ambientais de produtos e serviços (PIRES *et al.*, 2002).

Contudo, ainda não existem trabalhos que utilizem a ACV para mensurar impactos associados ao uso da lenha no nordeste brasileiro. Sendo assim, este artigo quantificou as emissões de gases de efeito estufa associadas à queima de lenha no Nordeste brasileiro, em pequena escala, para os segmentos do extrativismo vegetal e da silvicultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Dados utilizados

Os dados utilizados incluem a quantidade (m^3) de lenha produzida nos Estados Nordestinos, para os anos de 1994 e 2013, a partir do Sistema de Recuperação Automática (SIDRA) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os segmentos abordados foram o extrativismo vegetal e a silvicultura.

Considerou-se o poder calorífico médio das seguintes espécies do extrativismo: Jurema Preta com 17.201 MJ/m^3 , *Aspidosperma pyriformium* (Pereiro) com 11.565 MJ/m^3 , *Leucena leucocephala* (Leucena) com 10.111 MJ/m^3 e *Caesalpinia pyramidalis* (Catingueira) com 16.154 MJ/m^3 , resultando em uma média de 13.756 MJ/m^3 . Na silvicultura, foram consideradas as espécies do *Eucalyptus grandis* (6.121 MJ/m^3) e *Eucalyptus camaldulensis* (11.485 kcal/m^3), tendo um poder calorífico médio de 8.803 MJ/m^3 (MIRANDA, 1989; VALE *et al.*, 2000). O resíduo do processo (o teor de cinzas) foi obtido da média das principais espécies do semiárido brasileiro.

Para o extrativismo, as espécies florestais com seus respectivos teores de cinzas foram: Leucena (0,86%), Pereiro (0,61%), Catingueira (2,11%) e a Jurema preta (0,62%), resultando em uma média de 1,05% (MIRANDA, 1989; PAES *et al.*, 2013). Na silvicultura, as espécies de eucalipto foram: *Eucalyptus grandis* (0,31%) e *Eucalyptus camaldulensis* (0,30%), com teor de cinzas médio de 0,305% (BRITO e BARRICHELO, 1978).

Avaliação de Ciclo de Vida

A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) está estruturada e normatizada pela Organização Internacional para Normalização (ISO), que no Brasil corresponde às normas ISO 14040 (2006) e ISO 14044 (2006). A ISO 14040 (2006) demonstra que a ACV é uma técnica que colabora na análise e interpretação de impactos ambientais por meio do levantamento e compilação de entradas (insumos), etapas de produção, consumo e

saídas de um sistema de produto durante todo o seu ciclo de vida. A ACV é constituída por quatro fases principais que se inter-relacionam (KLÖPPFER, 2012; ISO 14040, 2006):

i) Definição do objetivo e do escopo da análise, que consiste nos fatores motivadores e pretendidos do estudo, além do público-alvo a ser atendido e a escolha do produto a ser estudado, além de pressupostos, limitações, unidades do sistema, fronteiras, etc.

ii) Inventário do processo, que consiste no conjunto de informações formadas por dados de entradas e saídas do processo em estudo;

iii) Avaliação dos impactos ambientais, que busca entender e associar cada elemento do processo estudado com os indicadores e modelos de caracterização, *i.e.*, classificação dos resultados e sua respectiva definição;

iv) Interpretação, que é constituída pela conclusão da análise do inventário, exposição das limitações enfrentadas e possíveis recomendações - esta etapa proporcionará insumos para a tomada de decisões que irão resultar no desenvolvimento de aplicações diretas, tais como: aprimoramento de produtos, estratégias empresariais, desenvolvimento de políticas públicas, marketing. A Figura 1 mostra o esquema da ACV.

O software utilizado para desenvolvimento da ACV foi o SimaPro®, com a base de dados EcoInvent, ano de 2015. A base de dados EcoInvent foi a que melhor representou os processos brasileiros na categoria "madeira".

A unidade funcional deste estudo foi a combustão de 1 m³ de lenha, para produção de calor em pequena escala. Na base de dados EcoInvent (2015), encontrou-se um processo com poder calorífico inferior (PCI) de 9.427 MJ/m³ (14.650 MJ/m³ para o extrativismo) e uma densidade aparente das toras (umidade = 20%) de 607 kg/m³. Estes processos foram considerados representativos para a realidade Nordestina. Os fatores de emissões para a atmosfera foram ajustados por meio de medições, com base na experiência de funcionamento dos aquecedores instalados. O processo de combustão da lenha¹ incluiu o uso do trator, a operação florestal, a remoção e uso da terra, o transporte e o diesel queimado nas máquinas de corte. As cinzas provenientes do processo de queima foram tratadas como resíduos para uso no solo, "fechando" a ACV.

Crítérios para avaliação de impacto ambiental

Para análise dos impactos ambientais utilizou-se o métodos *IPCC 2013 GWP 100a (IPCC 2013)*. O IPCC 2013 GWP 100a foi desenvolvido pelo Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC, 2015). Em relação ao potencial de aquecimento global por emissões atmosféricas, o método: i) não inclui a radiação proveniente das emissões de NO_x, sulfato, entre outros, para a estratosfera inferior e troposfera superior; ii) não considera os efeitos

¹ O processo selecionado foi Combustão de madeira em pequena escala em aquecedor de 6 kw.

indiretos das emissões de CO₂; e iii) não inclui normalização nem ponderação, que não fazem parte deste método (já que é *midpoint*).

Dada a atual preocupação com as mudanças climáticas, o método quantificou o impacto ambiental em kg CO₂-equivalente (kg CO₂-eq), diferindo somente nos fatores de conversão utilizados. O potencial de aquecimento global da substância *i* expresso em CO₂-eq (*GWP = Potential Global Warming*), estabelecido pelo *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC, 2013), à uma substância pela Equação:

$$GWP_i = \frac{\int_0^T a_i c_i(t) dt}{\int_0^T a_{CO_2} c_{CO_2}(t) dt}$$

em que, *T* = representa o horizonte de tempo (20, 100, 500 anos), *a_i* é efeito

de uma unidade de massa de substância (*i*), *c_i(t)* é a concentração da substância (*i*) no tempo (*t*), *a_{CO₂}* e *c_{CO₂}* são parâmetros correspondentes para a substância de referência (CO₂).

O IPCC (2013) recomenda a utilização de um horizonte temporal de 100 anos, suficiente para verificar os efeitos cumulativos. O aquecimento global resultante (em kg CO₂-eq) é dado pela expressão:

$$Aquecimento_{global} = GWP_i \cdot m_i$$

em que, *m_i* = a massa (kg) da substância emitida.

O CO₂ biogênico para a lenha não foi considerado nas avaliações de impacto. A combustão da biomassa resulta em emissões consideradas neutras, pois este CO₂ se origina de um ciclo biológico (e não de um ciclo geológico, como no caso do CO₂ de origem fóssil) (GHG, 2014). Nos termos do atual Protocolo de Quioto, o uso de lenha (biomassa) como combustível é considerado uma importante contribuição para a redução nas emissões de GEE (GHG, 2014). O carbono emitido pelos combustíveis fósseis, por exemplo, se considera separadamente do ciclo global do carbono, de forma que é acrescentado a quantidade total de carbono em circulação ativa na atmosfera e biosfera (LUCIER; MINER, 2010). Por outro lado o CO₂ resultante da queima de lenha é absorvido como parte do ciclo de carbono biogênico, no qual as plantas absorvem CO₂ para seu crescimento (por meio da fotossíntese), e liberam CO₂ quando se decompõem ou são queimadas - então o ciclo biogênico não libera novo CO₂ para a atmosfera (e por isso se considera como neutro) (LUCIER; MINER, 2010). Um documento assinado por 114 cientistas (SENATE, 2010) argumenta que igualar as emissões de CO₂ biogênico com as emissões de combustíveis fósseis não é correto, e de fato, tal consideração poderia ser um freio para o desenvolvimento de instalações de biomassa que efetivamente reduzam emissões, ou até que sistemas existentes a biomassa se convertam para queimar combustíveis fósseis ou fechem completamente.

Analisou-se a quantidade produzida de lenha (m³) pelo Nordeste brasileiro e seus estados para os anos de 1994 e 2013, considerando os segmentos da silvicultura e extrativismo. Verificaram-se as participações de cada estado na produção de lenha e as variações ocorridas em 2013 comparativamente a 1994, implementando estes dados no software SimaPro. Os impactos ambientais foram calculados com os métodos ReCiPe (*midpoint*) e IPCC 2013 GWP 100a para a queima de 1m³ de lenha, quantificando-se as emissões de CO₂-eq pela queima de lenha para o extrativismo e silvicultura no Nordeste nos anos de 1994 e 2013.

Para uma melhor análise, as emissões de CO₂-eq pelo processo da queima de lenha foram quantificadas considerando a área (km²) do Nordeste brasileiro e seus respectivos estados. Ao utilizar este indicador, garantiu-se a não influência da dimensão territorial nos resultados. Logo, o índice per área informou a quantidade de CO₂-eq emitidos por km².

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 3 mostra a rede de impactos do processo de queima de 1m³ de lenha por segmento para o critério IPCC (2013). As emissões de CO₂-eq pelo extrativismo (16 kg CO₂-eq) foram mais altas que as verificadas para a silvicultura (10 kg CO₂-eq). As atividades que apresentaram uma maior contribuição para as emissões foram a queima de lenha e a queima do diesel nas máquinas de corte para a exploração florestal.

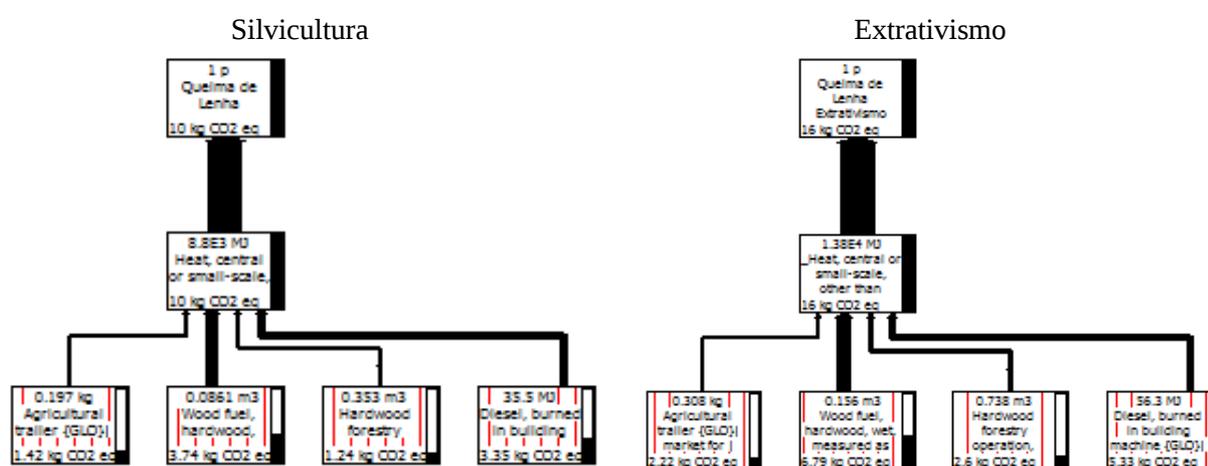


Figura 3. Rede de impactos do processo da queima de 1 m³ de lenha por segmento (silvicultura e extrativismo) para o critério IPCC (2013).

No extrativismo, a atividade da queima de lenha contribuiu com 6,79 kg CO₂-eq e a queima do diesel nas máquinas de corte para a exploração florestal com 5,33 kg CO₂-eq. Para a silvicultura, notou-se uma emissão de 3,74 kg CO₂-eq proveniente da queima de lenha e 3,35 kg CO₂-eq oriundo da queima do diesel nas máquinas de corte para a exploração florestal, ou seja, representa aproximadamente 63% das emissões do extrativismo. Observa-se que ambos os critérios de quantificação dos impactos apresentaram valores semelhantes.

Na Tabela 1, observa-se a quantificação dos impactos da queima de lenha em kg CO₂-eq para o Extrativismo e Silvicultura do Nordeste para os anos de 1994 e 2013, considerando o método IPCC (2013). A Silvicultura e o Extrativismo emitiram um menor quantitativo de kg CO₂-eq. Verificou-se um maior impacto por parte do Extrativismo. Esta maior quantidade de emissões pode ser explicada pela maior densidade das espécies nativas em relação às da Silvicultura.

A Silvicultura, em 1994, emitiu cerca de 9.294.750 kg CO₂-eq. O maior percentual de emissões foi da Bahia (69,20%). Seguido do Rio Grande do Norte (11,99%), Ceará (8,82%), Maranhão (7,99%), Pernambuco (1,23%) e Sergipe (0,77%). Em 2013, a Silvicultura emitiu cerca de 11.031.220 kg CO₂-eq. Os estados com maiores emissões, em ordem decrescente, foram: Bahia (78,24%), Piauí (9,76%), Rio Grande do Norte (6,24%), Maranhão (2,80%), Sergipe (2,76%) e Alagoas (0,21%).

Tabela 1. Quantificação dos impactos da queima de lenha em kg CO₂-eq para o extrativismo e silvicultura do Nordeste para os anos de 1994 e 2013 (método IPCC 2013).

Estados	Silvicultura				Extrativismo			
	Queima		Cinzas		Queima		Cinzas	
	1994	2013	1994	2013	1994	2013	1994	2013
Alagoas	-	23.170	-	-4	16.771.968	860.592	-12.160	-624
Bahia	6.432.200	8.630.400	-1.170	-1.571	287.435.632	92.687.120	-208.391	-67.198
Ceará	820.000	-	-149	-	168.233.600	56.965.728	-121.969	-41.300
Maranhão	742.500	308.990	-135	-56	105.598.336	41.436.448	-76.559	-30.041
Paraíba	-	-	-	-	18.774.128	7.531.152	-13.611	-5.460
Pernambuco	114.180	-	-21	-	24.246.288	33.115.360	-17.578	-24.009
Piauí	-	1.076.430	-	-196	24.745.824	31.295.376	-17.941	-22.689
Rio Grande do Norte	1.114.370	688.240	-203	-125	72.700.528	19.552.992	-52.708	-14.176
Sergipe	71.500	303.990	-13	-55	7.872.080	366.880	-5.707	-266
Nordeste	9.294.750	11.031.220	-1.691	-2.007	726.378.384	283.811.648	-526.624	-205.763

De 1994 a 2013, observou-se um crescimento médio anual de 0,90% a.a. nas emissões de CO₂-eq. Referente aos estados verificou que o crescimento médio anual foi de: Sergipe (+7,91% a.a.), Bahia (+1,56% a.a.), Rio Grande do Norte (-2,50% a.a.) e Maranhão (-4,51% a.a.). As cinzas, resíduos do processo, foram lançadas ao solo, apresentando assim, impactos positivos. Tais impactos apresentaram um crescimento médio anual de 0,90% a.a.. Quanto aos estados, verificou-se um crescimento médio anual por parte dos impactos das cinzas de: Sergipe (+7,89% a.a.), Bahia (+1,56% a.a.), Rio Grande do Norte (-2,52% a.a.) e Maranhão (-4,52% a.a.). Em 1994, o Extrativismo emitiu 726.378.384 kg CO₂-eq para a atmosfera. Assim como observado na Silvicultura, o estado com maior participação nas emissões foi a Bahia (39,57%). Seguido do Ceará (23,16%), Maranhão (14,54%), Rio Grande do Norte (10,01%), Piauí (3,41%), Pernambuco (3,34%), Paraíba (2,58%), Alagoas (2,31%) e Sergipe (1,08%).

No ano de 2013, foi emitido 283.811.648 kg CO₂-eq pelo Extrativismo do Nordeste. Os estados com maiores emissões, em ordem decrescente, foram: Bahia (32,66%), Ceará (20,07%), Maranhão (14,60%),

Pernambuco (11,67%), Piauí (11,03%), Rio Grande do Norte (6,89%), Paraíba (2,65%), Alagoas (0,30%) e Sergipe (0,13%).

De 1994 a 2013, houve uma queda do crescimento médio anual de 4,82% a.a. no quantitativo de emissões. Quanto aos estados, notou um crescimento médio anual de: Pernambuco (+1,65% a.a.), Piauí (+1,24% a.a.), Paraíba (-4,69% a.a.), Maranhão (-4,80% a.a.), Ceará (-5,54% a.a.), Bahia (-5,78% a.a.), Rio Grande do Norte (-6,68% a.a.), Alagoas (-14,47% a.a.) e Sergipe (-14,90% a.a.).

No Extrativismo, os impactos das cinzas, de 1994 a 2013, apresentou uma redução de 4,82% a.a. no crescimento médio anual. No que tange aos estados, observou um crescimento médio anual de: Pernambuco (+1,65% a.a.), Piauí (+1,24% a.a.), Paraíba (-4,69% a.a.), Maranhão (-4,80% a.a.), Ceará (-5,54% a.a.), Bahia (-5,78% a.a.), Rio Grande do Norte (-6,68% a.a.), Alagoas (-14,47% a.a.) e Sergipe (-14,90% a.a.).

A Tabela 2 mostra a quantificação dos impactos per área da queima de lenha em kg CO₂-eq para o Extrativismo e Silvicultura do Nordeste para os anos de 1994 e 2013, considerando o critério IPCC (2013). O processo de queima, utilizando o critério IPCC (2013), apresentou impactos semelhantes ao critério ReCiPe (midpoint). A Silvicultura do Nordeste emitiu 0,0060 kg CO₂-eq per área no ano de 1994. Embora a Bahia seja o estado mais emissor, ao mensurar os impactos per área, notou-se que o Rio Grande do Norte se configura como o maior emissor (0,0211 kg CO₂-eq per área). Seguido da Bahia (0,0114 kg CO₂-eq), Ceará (0,0055 kg CO₂-eq), Sergipe (0,0033 kg CO₂-eq), Maranhão (0,0022 kg CO₂-eq) e Pernambuco (0,0012 kg CO₂-eq).

Tabela 2. Quantificação dos impactos per área da queima de lenha em kg CO₂-eq para o extrativismo e silvicultura do Nordeste para os anos de 1994 e 2013 (método IPCC 2013).

Estados	Silvicultura				Extrativismo			
	Queima		Cinzas		Queima		Cinzas	
	1994	2013	1994	2013	1994	2013	1994	2013
Alagoas	-	0,0008	-	-0,152x10 ⁻⁶	0,6038	0,0310	-4,38x10 ⁻⁴	-0,225x10 ⁻⁴
Bahia	0,0114	0,0153	-2,07x10 ⁻⁶	-2,78x10 ⁻⁶	0,5090	0,1641	-3,69x10 ⁻⁴	-1,19x10 ⁻⁴
Ceará	0,0055	-	-1,00x10 ⁻⁶	-	1,1299	0,3826	-8,19x10 ⁻⁴	-2,77x10 ⁻⁴
Maranhão	0,0022	0,0009	-0,407x10 ⁻⁶	-0,169x10 ⁻⁶	0,3181	0,1248	-2,31x10 ⁻⁴	-0,905x10 ⁻⁴
Paraíba	-	-	-	-	0,3325	0,1334	-2,41x10 ⁻⁴	-0,967x10 ⁻⁴
Pernambuco	0,0012	-	-0,212x10 ⁻⁶	-	0,2470	0,3374	-1,79x10 ⁻⁴	-2,45x10 ⁻⁴
Piauí	-	0,0043	-	-0,779x10 ⁻⁶	0,0983	0,1244	-0,713x10 ⁻⁴	-0,902x10 ⁻⁴
Rio Grande do Norte	0,0211	0,0130	-3,84x10 ⁻⁶	-2,37x10 ⁻⁶	1,3766	0,3702	-9,98x10 ⁻⁴	-2,68x10 ⁻⁴
Sergipe	0,0033	0,0139	-0,594x10 ⁻⁶	-2,52x10 ⁻⁶	0,3592	0,0167	-2,60x10 ⁻⁴	-0,121x10 ⁻⁴
Nordeste	0,0060	0,0071	-1,09x10⁻⁶	-1,29x10⁻⁶	0,4673	0,1826	-3,39x10⁻⁴	-1,32x10⁻⁴

Em 2013, foram emitidos 0,0071 kg CO₂-eq per área pela Silvicultura do Nordeste. Os estados com maiores emissões de CO₂-eq per área, em ordem decrescente, foram: Bahia (0,0153 kg CO₂-eq), Sergipe (0,0139 kg CO₂-eq), Rio Grande do Norte (0,0130 kg CO₂-eq), Piauí (0,0043 kg CO₂-eq), Maranhão (0,0009 kg CO₂-eq) e Alagoas (0,0008 kg CO₂-eq). De 1994 a 2013, verificou-se um crescimento médio anual de 0,89% a.a. na quantidade de kg CO₂-eq per área emitidos pela Silvicultura. Em relação aos estados,

o crescimento médio anual foi de: Sergipe (+7,86% a.a.), Bahia (+1,56% a.a.), Rio Grande do Norte (-2,52% a.a.) e Maranhão (-4,60% a.a.).

Os impactos das cinzas foram positivos, porém não significativos. De 1994 a 2013, tais impactos apresentaram um crescimento médio anual de 0,89% a.a.. Em relação aos estados, o crescimento médio anual foi de: Sergipe (+7,90% a.a.), Bahia (+1,56% a.a.), Rio Grande do Norte (-2,51% a.a.) e Maranhão (-4,52% a.a.).

O Extrativismo, em 1994, emitiu cerca de 0,4673 kg CO₂-eq per área para a atmosfera. Assim como na Silvicultura, o Rio Grande do Norte foi o maior emissor (1,3766 kg CO₂-eq per área). Seguido do Ceará (1,1299 kg CO₂-eq), Alagoas (0,6038 kg CO₂-eq), Bahia (0,5090 kg CO₂-eq), Sergipe (0,3592 kg CO₂-eq), Paraíba (0,3325 kg CO₂-eq), Maranhão (0,3181 kg CO₂-eq), Pernambuco (0,2470 kg CO₂-eq) e Piauí (0,0983 kg CO₂-eq).

Em 2013, o Extrativismo emitiu em torno de 0,1826 kg CO₂-eq per área. Os maiores emissores per área, em ordem decrescente, foram: Ceará (0,3826 kg CO₂-eq), Rio Grande do Norte (0,3702 kg CO₂-eq), Pernambuco (0,3374 kg CO₂-eq), Bahia (0,1641 kg CO₂-eq), Paraíba (0,1334 kg CO₂-eq), Maranhão (0,1248 kg CO₂-eq), Piauí (0,1244 kg CO₂-eq), Alagoas (0,0310 kg CO₂-eq) e Sergipe (0,0167 kg CO₂-eq).

De 1994 a 2013 verificou-se uma redução do crescimento médio anual de 4,82% a.a. no quantitativo de emissões do Extrativismo. Quanto aos estados, observou um crescimento médio anual de: Alagoas (-14,47% a.a.), Bahia (-5,78% a.a.), Ceará (-5,54% a.a.), Maranhão (-4,80% a.a.), Paraíba (-4,69% a.a.), Pernambuco (+1,65% a.a.), Piauí (+1,24% a.a.), Rio Grande do Norte (-6,68% a.a.) e Sergipe (-14,91% a.a.).

Os impactos das cinzas apresentaram uma redução do crescimento médio anual de 4,84% a.a.. Referente aos estados, notou-se um crescimento médio anual de: Pernambuco (+1,66% a.a.), Piauí (+1,24% a.a.), Paraíba (-4,69% a.a.), Maranhão (-4,81% a.a.), Ceará (-5,54% a.a.), Bahia (-5,78% a.a.), Rio Grande do Norte (-6,68% a.a.), Alagoas (-14,46% a.a.) e Sergipe (-14,91% a.a.).

CONCLUSÃO

A partir das análises realizadas concluiu-se que:

- Em 1994, na Silvicultura, os estados de maior produção de lenha foram a Bahia e o Rio Grande do Norte;
- No ano de 2013, os estados de maior produção de lenha na Silvicultura foram a Bahia e o Piauí;
- No Extrativismo, os estados de maior produção de lenha foram a Bahia e o Ceará em ambos os anos;
- O processo de queima de 1m³ de lenha, pelo método IPCC (2013), foram de 16 kg CO₂-eq e 10 kg CO₂-eq para o extrativismo e silvicultura, respectivamente;
- Das atividades do processo de queima da lenha, as que mais contribuíram para as emissões de CO₂-eq foram a queima de lenha e a utilização do diesel nas máquinas de corte para a exploração florestal;

- Para o método *IPCC (2013)*, as emissões de CO₂ pelo extrativismo foram de 726.378.384 kg CO₂-eq e 283.811.648 kg CO₂-eq para os anos de 1994 e 2013, respectivamente;
- Para o método *IPCC (2013)*, as emissões de CO₂ pela Silvicultura foram de 9.294.750 kg CO₂-eq e 11.031.220 kg CO₂-eq para 1994 e 2013, nesta seqüência;
- Na silvicultura, em 1994, o maior emissor per área em kg CO₂-eq foi o Rio Grande do Norte. Em 2013, o maior emissor per área foi o estado da Bahia;
- No Extrativismo, em 1994, o maior emissor per área em kg CO₂-eq foi o Rio Grande do Norte. Em 2013, o maior emissor per área foi o Ceará;
- As cinzas, resíduos do processo, apresentaram impactos positivos, porém não significativos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, Jan/Abr., 2007.

BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G. Características do Eucalipto como combustível: Análise química imediata da madeira e da casca. **Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF**, São Paulo, n. 16, p. 63-70, 1978.

CAMPELLO, F. B.; GARIGLIO, M. A.; SILVA, J. A.; LEAL, A. M. A. **Diagnóstico Florestal da Região Nordeste**. Projeto Desenvolvimento Florestal para o Nordeste do Brasil (Projeto IBAMA/PNUD/BRA/93/033). Brasília: IBAMA, 1999. (Boletim Técnico, n. 2).

CAMPELLO, F. C. B. **Análise do consumo específico de lenha nas indústrias gesseiras**: A questão florestal e sua contribuição para o desenvolvimento sustentável da região do Araripe- Pe.2011. 66 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife-PE.

COELHO JUNIOR, L. M. **Análise econômica de produtos florestais em condições de risco e incerteza**. 2010. 206 f. Tese (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010.

EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco Energético Nacional 2014** – Ano base 2013. Rio de Janeiro, 2014.

FEARNSIDE, P. M. Desmatamento na Amazônia Brasileira: história, índices e consequências. **Revista Megadiversidade**, Rio de Janeiro, vol. 1, n. 1, julho. 2005.

GHG PROTOCOL DA AGRICULTURA. **Metodologia GHG protocol para agricultura**. São Paulo: Unicamp; WRI Brasil, 2014. Disponível em: <<http://www.ghgprotocol.org/files/ghgp/Metodologia.pdf>> Acesso em 22 Out 2015.

GOEDKOOP, M; REIJUNGS, R; HUIJBREGTS, M; SCHRYVER, A. D; STRUIJS, J; ZELM, R. V. **RECIPE 2008: A life cycle impact assessment method which comprises harmonised category indicators at the midpoint and the endpoint level**. Ruimte en Milieu, Ministerie van Volkshuisvesting, Ruimtelijke Ordening en Milieubeheer, 5 ed., Fevereiro. 2013.

HAES, H. U. (Ed.). Life-Cycle Impact Assessment: Striving Towards Best Practice. [S.l.]: SETAC, 2002.

IBGE. **Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura**, Rio de Janeiro, v. 28, p.1- 69, 2013.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Disponível em:

<<http://www.ipcc.ch/index.htm>>. Acesso em: 16 de abril. 2015.

ISO 14040. Environmental management - Life cycle assessment - **Principles and framework**. International Organization for Standardization (ISO), Genebra, 2006.

ISO 14044. Environmental management - Life cycle assessment - **Requirements and guidelines**. International Organization for Standardization (ISO), Genebra, 2006.

KLÖPFER, W. The critical review of life cycle assessment studies according to ISO 14040 and 14044: origin, purpose and practical performance. **The International Journal Of Life Cycle Assessment**, Heidelberg, p. 1-7. 2012.

LUCIER, A.; MINER R. **Biomass Carbon Neutrality in the Context of Forest-based**. 2010.

MIRANDA, G. **Potencial Energético de Três Espécies Florestais da Região Semi-Árida do Nordeste do Brasil**. 1989. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.

MOREIRA, J. M. M. A. P. Potencial e participação das florestas na matriz energética. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v. 31, n. 68, p. 363-372, abr./jun. 2011.

MUNIZ, R. N. Educação e Biomassa. In: Encontro de Energia no Meio Rural, 4., 2002, Campinas. **Anais eletrônicos...** Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC000000022002000100053&script=sci_arttext>. Acesso em: 18 Abril. 2015.

PAES, J. B; LIMA, C. R; OLIVEIRA, E; NETO, P. N.M. Características Físico-Química, Energética e Dimensões das fibras de Três Espécies florestais do Semi-Árido Brasileiro. **Floresta e Ambiente**, Rio de Janeiro, v. 20, n. 4, p. 550-555, 2013.

PARAÍBA. SUPERINTENDÊNCIA DE ADMINISTRAÇÃO DO MEIO AMBIENTE (SUDEMA). **Atualização do Diagnóstico Florestal do Estado da Paraíba**. João Pessoa, Paraíba, 2004. 268 p.

PINTO, A. M. C. **A utilização da madeira no aquecimento escolar na Região de Viseu**. 2006. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais Lenhocelulósicos) - Universidade Técnica de Lisboa. Instituto Superior de Agronomia, Lisboa. 2006.

PIRES, A.C; RABELO, R. R; XAVIER, J. H. V. Uso Potencial da Análise do Ciclo de Vida (ACV) associada aos conceitos da produção orgânica aplicados à agricultura familiar. **Cadernos de Ciência e Tecnologia**, Brasília, v. 19, n. 2, p. 149-178, mai/ agosto., 2002.

SEDJO, R. A. 2010. **Biomass and Carbon Neutrality: A Zero Sum Game?** Washington, DC: Resources for the Future.

SEDJO, R. A. **Comparative Life Cycle Assessments: Carbon Neutrality and Wood Biomass Energy**, Washington, DC: Resources for the Future. 2013.

SENATE, 2010 / Letter to Senate. July 2010. Disponível em:

<http://www.safnet.org/documents/biomass_science_letter_SENATE7-20-10.pdf>. Acesso em: 20 de outubro de 2015

VALE, A. T; BRASIL, M. A. P; CARVALHO, C. M; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill Ex-Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. **CERNE**, Lavras, v. 6, n. 1, p. 083-088, 2000.

