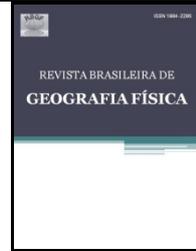




Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgf



Potencial de Aproveitamento Energético de Fontes de Biomassa no Nordeste do Brasil

Claudemiro de Lima Júnior¹; Everardo Valadares de Sá Barretto Sampaio²;
Regina Lúcia Félix de Aguiar Lima¹; Rômulo Simões Cezar Menezes³

¹ Professor Adjunto da Universidade de Pernambuco, *Campus Petrolina*, Petrolina-PE, claudemirojr@gmail.com, regina_aguiar@hotmail.com; ² Professor Titular da Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear, Recife - PE, esampaio@ufpe.br; ³ Professor Adjunto da Universidade Federal de Pernambuco, Departamento de Energia Nuclear, Recife - PE, rmenezes@ufpe.br.

Artigo recebido em 27/10/2013 e aceito em 29/04/2014.

RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo estimar o potencial energético das principais fontes de biomassa da região Nordeste do Brasil. As fontes estudadas incluíram derivados da cana-de-açúcar (etanol, bagaço e vinhaça), lenha da caatinga sob manejo, a fração orgânica de resíduos sólidos urbanos, esterco animal (bovino, suíno, caprino e avícola), casca de arroz, resíduos da silvicultura e culturas oleaginosas (amendoim, babaçu, coco-da-baía, dendê, girassol, mamona, soja). Para isso, foi feito o levantamento da produção divulgada nas bases de dados 2010 do IBGE e do potencial de geração de energia, estimado através de cálculos de conversão energética, baseados no poder calorífico e na disponibilidade de cada biomassa. As biomassas que apresentaram maior disponibilidade energética foram o bagaço de cana de açúcar, 143.725 MWh, a lenha da caatinga, 87.740 MWh, os resíduos urbanos, 27.941 MWh, o etanol, 17.649 MWh, e o coco-baía. 13.063 MWh. Nas potencialidades locais, merece destaque a biomassa do babaçu, no estado do Maranhão, a biomassa do coco-da-baía, nos litorais do Ceará, Bahia e Sergipe e nos perímetros irrigados no Vale do São Francisco, e a biomassa do dendê, no Sudeste da Bahia. Se as fontes de biomassa estudadas fossem utilizadas em sua totalidade para fins energéticos, somariam cerca de 119,5 milhões de toneladas, que considerando a eficiência do processo de conversão energética, produziria cerca de 55.000 GWh por ano, correspondente a grande parte da energia elétrica consumida no Nordeste em 2010.

Palavras-chave: energia renovável, mapeamento, lenha, resíduo, oleaginosa, cana-de-açúcar.

Potential Energy Use of Biomass Sources in Northeast Brazil

ABSTRACT

This study aimed to estimate the energy potential of the main sources of biomass in the Northeast region of Brazil. The sources studied included sugar cane products (ethanol, bagasse and vinasse), fuelwood from caatinga vegetation, organic fraction of municipal solid waste (MSW), animal manure (cattle, pigs, goats and poultry), rice husk, forestry residues and oil crops (peanut, babaçu, coconut, palm, sunflower, castor bean, soybean). For this, we used agricultural production data from IBGE for 2010, the calorific value of each biomass and the potential for electric power generation considering the efficiency of energy conversion. Biomass sources with higher energy availability were sugarcane bagasse, 143,725 MWh, caatinga fuelwood, 87,740 MWh, organic fraction of MSW, 27,941 MWh, ethanol, 17,649 MWh, and coconut, 13,063 MWh. Considering sources important in specific localities, the most important were babaçu, in Maranhão State, coconut on the coasts of Ceará, Bahia and Sergipe and in São Francisco Valley, and finally the palm oil in southeastern Bahia. If the biomass sources studied were used in its entirety for energy purposes, would total approximately 119.5 million tons, which considering the conversion efficiencies, could produce about 55,000 GWh per year, corresponding to much of the electricity consumed in the Northeast of Brazil in 2010.

Keywords: renewable energy, mapping, wood, waste, oilseed, sugarcane.

* E-mail para correspondência:
claudemiro.lima@upe.br (Lima Júnior, C.).

Introdução

O Brasil apresenta uma matriz de geração elétrica de origem predominantemente renovável, com participação de 74% da geração interna de hidráulica (Brasil, 2012). Entretanto, em períodos de estiagens prolongadas, quando o nível dos reservatórios diminui, são utilizadas termelétricas acionadas por combustíveis fósseis para complementar o fornecimento de energia, chegando a 19% de participação na geração de energia elétrica ao ano. A extração e o uso destes combustíveis fósseis causam impactos ambientais como o aumento da emissão de CO₂ e de poluentes causadores do efeito estufa.

A utilização dos combustíveis fósseis poderia ser substituída pela utilização de fontes renováveis de energia como a biomassa. As fontes de biomassa poderiam ter uma maior participação na matriz energética, substituindo os combustíveis fósseis no acionamento das termelétricas, aumentando a participação das fontes de energia renovável. Além disso, considerando que o aumento anual de consumo de energia elétrica no país é em torno de 5%, a biomassa disponível poderia também ser inserida no planejamento da expansão anual da oferta de energia.

As principais fontes de biomassa energética disponíveis no Brasil são a cana-de-açúcar e seus derivados, a lenha de florestas energéticas ou nativas manejadas, os resíduos sólidos urbanos (RSU) e os resíduos

agrícolas, agroindustriais e agropecuários (Brasil, 2011). No entanto, o aproveitamento energético dessas e de outras fontes de biomassa é limitado pelo pouco conhecimento sobre seu potencial energético.

A disponibilidade de alguns tipos de biomassa e o seu potencial para uso energético foram apresentados como mapas temáticos na escala de microrregião para o nordeste brasileiro (Coelho et al., 2002; Coelho et al., 2008). Os tipos de biomassa incluídos no mapa foram: bagaço da cana-de-açúcar, resíduos de silvicultura e cascas de arroz, de castanha de caju e de coco-baía. Além desses tipos de biomassa, na Bahia foi incluído também o óleo de dendê.

Diante do exposto, considerou-se importante realizar um estudo diagnóstico da biomassa na região Nordeste do Brasil, pela quantificação e avaliação do potencial energético dos principais tipos de biomassa. O objetivo deste trabalho foi estimar o potencial de aproveitamento energético das principais fontes de biomassa na região Nordeste do Brasil

Material e Métodos

A estimativa foi feita com base no levantamento da produção das principais fontes de biomassa da região nordeste, seguida do cálculo do potencial energético dessas fontes. Mais especificamente, o levantamento foi feito para a biomassa de lenha da caatinga; resíduos agrícolas e urbanos: casca de arroz, resíduos da

silvicultura, esterco (bovino, suíno, caprino e avícola), resíduos sólidos urbanos; derivados da cana-de-açúcar (etanol, bagaço e vinhaça) e oleaginosas (amendoim, babaçu, coco-baía, dendê, girassol, mamona, soja)

O levantamento das fontes de biomassa na região Nordeste foi feito utilizando-se como referências as bases de dados de 2010 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Os dados do IBGE que foram utilizados são relativos às variáveis de áreas plantadas, quantidade produzida e rendimento médio da produção, com as publicações dos dados municipais de Extração Vegetal e da Silvicultura, Produção Agrícola, Lavouras Temporárias, Censo Agropecuário, e Censo Demográfico, sendo organizados por município e por federação.

Algumas biomassas que apresentam maior viabilidade econômica para o consumo alimentício como a soja e o dendê, também foram estudadas e consideradas neste trabalho, porém é evidente que os valores teóricos de energia serão na realidade inferiores, dado que a maior parte dessas fontes será utilizada para outros fins.

O potencial de geração de energia das fontes de biomassa foi estimado através de cálculos de conversão energética, baseados nos poder calorífico inferior (PCI) e na disponibilidade de cada biomassa, considerando o produto destas duas grandezas (massa x PCI). Os valores de biomassa e energia calculados representam o máximo teórico, considerando o aproveitamento de

toda a biomassa disponível, sem perdas, para fins energéticos. Em relação às oleaginosas que geram resíduos, foi considerado também o seu potencial de geração de óleo e a conversão energética deste óleo. As estimativas de geração de energia a partir de óleos vegetais foram feitas com base em dados experimentais de projetos e publicações recentes (Teixeira, 2002; Coelho et al., 2002; Teixeira, 2003; Andrade et al., 2004; Drummond et al., 2006; Gazonni et al., 2006; Knothe et al., 2006; Brasil, 2007; Meneghetti et al., 2007; Araújo, 2008; Paro et al. 2008; Sampaio & Freitas, 2008; Cortez et al., 2008; Baungratz et al., 2013; Brasil, 2012a).

Lenha da Caatinga

A estimativa da biomassa da lenha da caatinga foi feita utilizando-se os dados do IBGE (IBGE, 2012), censo agropecuário de 2006, para a quantificação da área de mata nativa de caatinga por município. Os dados de área disponível e massa de biomassa por hectare foram estimados utilizando-se os seguintes valores: ciclo de regeneração natural de 100% da Caatinga, 13 anos; produção média de biomassa, 38 t.ha⁻¹ (Sampaio & Freitas, 2008); e poder calorífico inferior - PCI de 3.881 kcal.kg⁻¹ (Lima et al., 1996). Os dados disponibilizados pelo IBGE já excluem as áreas de preservação permanente. Além disto, nos cálculos de área disponível para o manejo, 20% da área disponível foi separada para as áreas de reserva legal.

Resíduos agrícolas

A quantificação da casca de arroz foi feita considerando que esse resíduo corresponde em média a 30% de toda a produção de arroz nos municípios da região Nordeste, com PCI de $3.384 \text{ kcal.kg}^{-1}$ (Coelho et al., 2008).

Os resíduos da silvicultura foram calculados a partir dos dados do IBGE sobre produção de toras de madeira para a indústria moveleira, que são fornecidos em metros cúbicos para cada município. Em média, o aproveitamento da madeira para a indústria moveleira gera em torno de 50% de resíduos. Os cálculos de biomassa e energia disponível para esses resíduos foram feitos considerando a madeira comercial com uma densidade de 390 kg.m^{-3} e o PCI de $3100 \text{ kcal.kg}^{-1}$ (Brasil, 2012a).

Para estimar a produção de esterco animais oriundo das criações utilizaram-se os dados do IBGE (2010) para quantificação do número de animais. As produções anuais de massa seca de esterco por animal foram estimadas utilizando-se dados da literatura (Garrido et al., 2009): bovino, 1,56 t; suíno, 0,16 t, caprino, 0,17 t, e aves, 0,008 t. Na estimativa da utilização de esterco considerou-se que para as aves e os suínos todo o esterco produzido poderia ser aproveitado, já que a maior parte das criações ocorre em sistemas intensivos. Para os caprinos e bovinos só foi considerado o aproveitamento de 50% da produção, uma vez que esses animais são criados no sistema de

semiconfinamento (pastejo durante o dia e confinamento no curral à noite). As perdas de esterco por diversos fatores não foram consideradas, portanto o valor estimado corresponde ao teto máximo para a produção. Para estimar a produção de biogás por categoria de animal foram usados dados de conversão de massa de esterco em volume de biogás, disponíveis na literatura: bovino, $0,04 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$; suíno, $0,075 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$; caprino, $0,065 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$; e aves, $0,1 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ (Baungratz et al., 2013). Na estimativa do potencial de energia, foi considerado que o biogás gerado na simulação com os diferentes esterco animais pode ser transformado em energia elétrica pelo fator de conversão de energia $1,67 \text{ kWh.m}^{-3}$ de biogás. (Paro et al., 2008).

Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

A quantificação da biomassa de RSU foram utilizados os dados relativos às quantidades de habitantes por municípios disponibilizados pelo IBGE (2012), multiplicadas pelos coeficientes de resíduos coletados por habitante em cada estado, propostos pelo Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil (ABRELPE, 2011), expressos em $\text{kg.dia}^{-1}.\text{habitante}^{-1}$: Alagoas, 0,964; Bahia, 1,044; Ceará, 1,092; Maranhão, 0,933; Paraíba, 0,930; Pernambuco, 0,977; Piauí, 0,942; Rio Grande do Norte, 0,943; e Sergipe, 0,9294. Nos cálculos de resíduos disponíveis foi considerada apenas a matéria orgânica, que equivale a 51,4% de todo o resíduo coletado (ABRELPE, 2011). Para a estimativa do potencial energético dos

resíduos sólidos urbanos orgânicos foi considerado um poder calorífico de 2431 kcal.kg⁻¹ (Paro et al., 2008).

Cana-de-açúcar

Os derivados da cana-de-açúcar que tem potencial para uso energético são: etanol, vinhaça e bagaço. Para a estimativa do potencial energético proveniente do bagaço da cana-de-açúcar, foi considerado que 1 tonelada de cana com 50% de umidade gera em torno de 0,28 toneladas de bagaço e o poder calorífico deste bagaço, com 50% de umidade, é de 2130 kcal.kg⁻¹ (Cortez et al., 2008).

O potencial energético do etanol da cana-de-açúcar foi estimado considerando-se que 50% da produção da cana são destinados à produção de etanol e que cada tonelada de cana gera 85 litros de etanol (Brasil, 2007). O poder calorífico inferior considerado foi de 6300 kcal.kg⁻¹, considerando que a densidade do etanol é 809 kg.m⁻³ (Brasil, 2012a).

Para a estimativa do potencial energético da vinhaça considerou-se a produção média de 12 m³ de vinhaça por metro cúbico de álcool produzido, a produção de 14,23 m³ de metano a partir da biodigestão de 1 m³ de vinhaça, e o poder calorífico de 5500 kcal.m⁻³ de metano. Isto resulta em uma energia disponível de 91 kWh.m⁻³ de vinhaça (Rego, 2006; Salomon & Lora, 2005).

Oleaginosas

A biomassa do amendoim foi obtida considerando-se toda a produção do amendoim nos municípios da região

Nordeste. No cálculo de disponibilidade energética, foi considerado que as cascas correspondem a 30% do peso do amendoim e as sementes a 70% do peso, com teor de 50% de óleo (Meneghetti et al., 2007). Para a casca do amendoim, considerou-se o PCI de 4.556 kcal.kg⁻¹ e para o óleo de amendoim “in natura” um PCI de 9.502 kcal.kg⁻¹ (Knothe et al., 2006).

A estimativa da biomassa do coco babaçu foi obtida somando a produção dos municípios do Nordeste. O PCI das cascas do coco babaçu é de 4300 kcal.kg⁻¹ (Teixeira, 2002). O óleo, produzido a partir das amêndoas, equivale a 7% da massa do babaçu e tem PCI igual a 9049 kcal.kg⁻¹ (Teixeira, 2003).

A estimativa de biomassa para o coco-baía foi feita considerando a massa do coco igual a 2 kg, já que os dados disponibilizados pelo IBGE estão na unidade de 1000 cocos por ano e não distinguem entre coco anão e coco da praia, que apresentam peso médio igual a 1,19 kg e 2,78 kg, respectivamente (Vale et al., 2004). A indústria alimentícia aproveita a água de coco e a “carne” ou “copra”, que representam cerca de 22% e 13% da massa do coco. A casca, 64% da massa do coco, é geralmente descartada como resíduo. O PCI da casca do coco é de 5447,4 kcal.kg⁻¹ (Andrade et al., 2004) e o PCI do óleo da copra “in natura”, que corresponde a 8% do fruto, caso venha a ser usado como combustível, é de 8993 kcal.kg⁻¹ (Araújo, 2008).

A indústria de extração de óleo do dendê tem como produtos e subprodutos o óleo da palma bruto, o óleo e a torta de palmiste, os engaços, as fibras e as cascas do dendê, correspondendo a 20%, 1,5% e 3,5%, 22%, 12% e 5% da massa dos cachos, respectivamente. Os 36% restantes, são formados por efluentes líquidos (Furlan Júnior, 2006). O óleo de palma “in natura” tem um poder calorífico de 9104 kcal.kg⁻¹ e os engaços, fibras e cascas, têm um poder calorífico de 3940 kcal.kg⁻¹, 2600 kcal.kg⁻¹ e 4401 kcal.kg⁻¹, respectivamente.

Na produção de óleo de girassol, cerca de 60% das sementes são transformados em resíduos (casca e torta). Cada tonelada de grão produz cerca de 400 kg de óleo, 250 kg de casca e 350 kg de torta. Para o cálculo de disponibilidade de energia, foram considerados o óleo e os resíduos. O poder calorífico inferior do óleo de girassol é 9000 kcal.kg⁻¹ e a massa formada pela torta e as cascas tem PCI de 4000 kcal.kg⁻¹ (Gazzoni et al., 2005).

A produção de mamona é destinada principalmente para a extração do óleo com fins energéticos ou para a indústria química. No processo industrial, cerca de 45% de toda mamona é convertida em óleo de mamona e os outros 55% em torta (Silva et al., 2010). O poder calorífico do óleo de mamona “in natura” é de 9434,4 kcal.kg⁻¹ (Knothe *et al.*, 2006) e o poder calorífico inferior da torta é de 4500 kcal.kg⁻¹ (Drummond et al., 2006).

Na produção de óleo de soja, cada tonelada de grão gera cerca de 180 kg de óleo. Para o cálculo de disponibilidade de energia, foram considerados o óleo e a torta. O poder calorífico inferior do óleo de soja é de 9000 kcal.kg⁻¹ e a massa formada pela torta e as cascas tem PCI de 4000 kcal.kg⁻¹ (Gazzoni et al., 2005). Apesar de ter sido calculado o potencial energético da torta do grão da soja, sabe-se que o seu uso como fonte energética é inviável, dada sua importância como alimento humano e ração animal, porém decidiu-se manter a estimativa apenas para ter como referência da ordem de grandeza dessa fonte de biomassa, assim como foi feito para as demais fontes.

Resultados e Discussão

As fontes que apresentaram maior produção anual de biomassa foram vinhaça, esterco bovino, bagaço de cana-de-açúcar, lenha da caatinga e RSU (Figura 1). Entretanto, após os cálculos da disponibilidade energética, as fontes que apresentaram maior potencial energético foram bagaço de cana, lenha da caatinga, RSU, etanol e coco-baía (Figura 2).

A cana de açúcar é produzida em todos os estados, mas a disponibilidade de bagaço de cana e etanol são maiores em Alagoas e em Pernambuco, seguidos por Paraíba, Bahia e Rio Grande de Norte, nos municípios localizados mais próximos ao litoral.

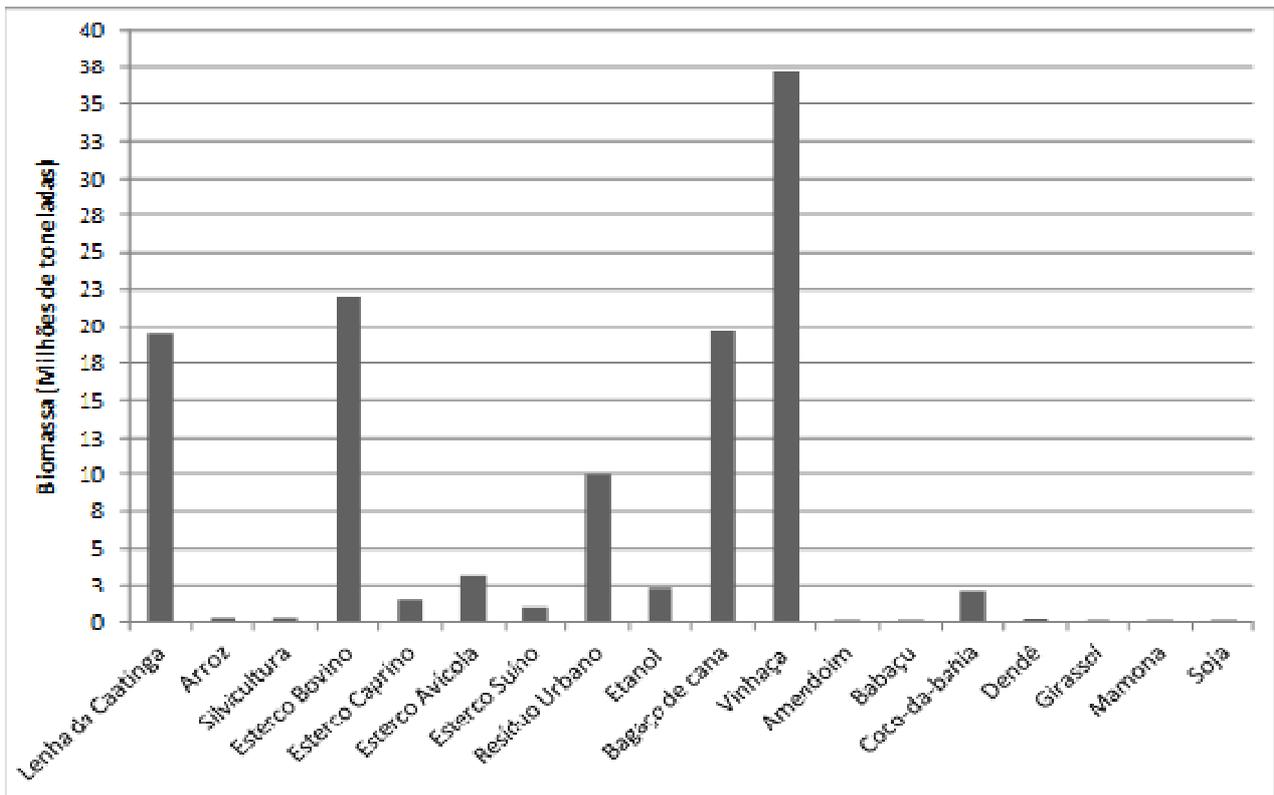


Figura 1: Disponibilidade anual de fontes de biomassa para produção de energia no Nordeste do Brasil em milhões de toneladas.

Fonte: Próprio Autor.

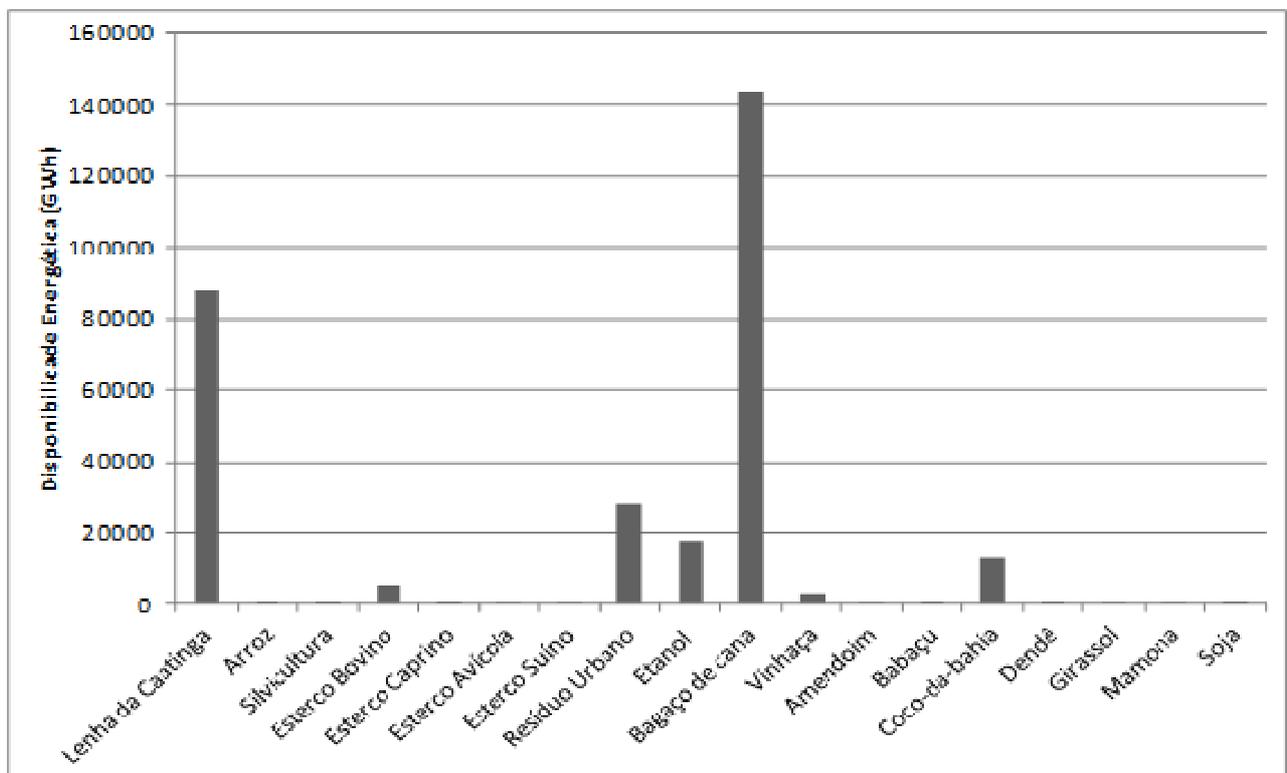


Figura 2: Disponibilidade energética anual de fontes de biomassa para produção de energia no Nordeste do Brasil em GWh.

Fonte: Próprio Autor.

A lenha da Caatinga está presente em maior abundância na Bahia, Piauí, Ceará, Paraíba, Pernambuco e Rio Grande do Norte, devido à área de caatinga dos estados e na proporção de municípios incluído nessa vegetação. A disponibilidade de resíduos

sólidos urbanos é maior na Bahia, Ceará, Maranhão e Pernambuco devido à densidade demográfica. O potencial da biomassa do coco-baía é maior nos litorais dos estados da Bahia, Ceará, Pernambuco e Sergipe (Tabelas 1 e 2).

Tabela 1: Potencial de produção anual das diferentes fontes de biomassa, por estado, em milhares de toneladas.
Fonte: Próprio Autor.

	AL	BA	CE	MA	PB	PE	PI	RN	SE	TOTAL
Lenha da Caatinga	133	5.677	3.383	271	1.455	1.564	5.626	1.209	125	19.442
Arroz	3	10	19	177	0	5	34	2	15	265
Silvicultura	0	211	8	36	-	7	24	1	3	291
Esterco Bovino	931	7.980	1.946	5.371	959	1.792	1.312	896	874	22.060
Esterco Caprinos	22	493	262	53	91	266	236	83	15	1.520
Esterco Aves	116	764	641	232	181	844	160	157	137	3.231
Esterco Suínos	24	281	186	221	23	24	154	31	16	958
Resíduos Sólidos Urbanos	568	2.761	1.748	1.163	661	1.625	555	566	364	10.012
Etanol	922	159	80	97	217	669	30	146	90	2.409
Bagaço de cana	7.505	1.296	651	791	1.765	5.445	241	1.193	730	19.616
Vinhaça	14.217	2.456	1.233	1.498	3.343	10.314	456	2.260	1.383	37.158
Amendoim	12	-	-	-	-	-	-	-	-	12
Babaçu	-	0	0	103	-	-	5	-	-	109
Coco-da-baía	89	779	433	12	106	217	29	102	466	2.232
Dendê	-	206	-	-	-	-	-	-	-	206
Girassol	-	2	1	-	-	-	-	1	-	4
Mamona	-	67	8	-	0	2	1	0	-	79
Soja	4	21	3	70	-	-	44	-	-	142
TOTAL	24.208	21.327	9.858	9.637	8.474	21.798	8.734	6.390	4.036	114.463

As fontes de biomassa selecionadas, se utilizadas em sua totalidade para fins energéticos, somariam cerca de 119,5 milhões de toneladas, salientando-se que os valores indicados são valores potenciais extremos, supondo-se o aproveitamento de toda a biomassa disponível.

O aproveitamento potencial das principais fontes de biomassa seria através de

processos de combustão direta (lenha, coco-baía, RSU, bagaço e etanol) ou por biodigestão (vinhaça e esterco). Essa observação é particularmente importante, pois destaca a relevância potencial dos processos de biodigestão na região Nordeste. Contudo, não há na região a capacidade instalada de infraestrutura e pessoal para operar os biodigestores e sistemas de conversão. Essa deficiência intensifica-se se for levado em

conta que os resíduos, se depositados em aterros sanitários, também seriam submetidos

à biodigestão e produziriam biogás, aumentando, portanto, a geração de energia.

Tabela 2: Potencial energético anual das diferentes fontes de biomassa, por estado, em gigawatthora
Fonte: Próprio Autor.

	AL	BA	CE	MA	PB	PE	PI	RN	SE	TOTAL
Lenha da Caatinga	600	25.618	15.266	1.222	6.567	7.056	25.388	5.458	565	87.740
Arroz	12	34	65	599	0	18	114	5	49	897
Silvicultura	2	762	30	130	-	24	85	5	10	1.047
Esterco Bovino	238	2.041	498	1.374	245	458	336	229	224	5.643
Esterco Caprino	9	205	109	22	38	110	98	34	6	632
Esterco Avícola	7	49	41	15	12	54	10	10	9	207
Esterco Suíno	11	135	89	106	11	11	74	15	8	459
Resíduos Sólidos Urbanos	1.587	7.706	4.877	3.246	1.846	4.535	1.549	1.579	1.016	27.941
Etanol de cana	6.752	1.166	585	712	1.588	4.899	217	1.073	657	17.649
Bagaço de cana	54.990	9.499	4.768	5.795	12.930	39.893	1.763	8.740	5.349	143.725
Vinhaça de cana	1.244	215	108	131	293	902	40	198	121	3.251
Amendoim	45	28	4	0	3	0	0	-	8	90
Babaçu	-	2	2	554	-	-	28	-	-	585
Coco-baía	519	4.562	2.534	67	623	1.268	167	596	2.727	13.063
Dendê	-	769	-	-	-	-	-	-	-	769
Girassol	-	13	9	-	-	-	-	9	-	31
Mamona	-	330	39	-	1	12	6	0	-	389
Soja	27	149	19	487	-	-	305	-	-	988
TOTAL	66.042	53.283	29.043	14.460	24.156	59.242	30.181	17.950	10.748	305.106

A disponibilidade espacial das biomassas são semelhantes aos encontrados em “O Panorama do potencial de biomassa no Brasil” (Coelho et al., 2002) e o “Atlas de bioenergia do Brasil” (Coelho et al., 2008). Em ambos, para a Região Nordeste, foram apresentados os estudos de quantificação e potencial da biomassa do bagaço da cana-de-açúcar, da casca de arroz, da casca da castanha de caju, da casca do coco e dos resíduos da silvicultura, para toda a região e do óleo de palma, apenas na Bahia. Se fosse aplicada a mesma metodologia de cálculo destes trabalhos, que considerou a eficiência termelétrica e o tempo de operação, os

resultados seriam de mesma ordem de grandeza, entretanto difeririam por não terem utilizado o mesmo ano da base do IBGE.

O potencial de geração energética de algumas fontes merece ser discutido em detalhes, como, por exemplo, o da lenha da caatinga sob manejo sustentável. A geração de energia elétrica por usinas térmicas convencionais, ou seja, com o uso de combustíveis fósseis, na Região Nordeste foi de 7.265 GWh em 2010 (Brasil, 2012a), que corresponde a apenas um terço da energia elétrica que poderia ser produzida anualmente utilizando-se lenha da Caatinga sob manejo florestal sustentável em usina termelétrica

com 25% de eficiência, que seria de 21.934 GWh.ano⁻¹. Os estudos indicam que o potencial energético anual do bagaço de cana é 12.146 GWh. Se cerca de 60% de todo bagaço da cana-de-açúcar fosse destinado a termelétricas com eficiência de 25%, essa biomassa seria suficiente para acionar todas as termelétricas que usam combustível fóssil da Região Nordeste, tornando a matriz energética totalmente acionada por fontes renováveis.

Além de abastecer os fornos do comércio e a da indústria do interior do Nordeste de forma sustentável, a lenha da caatinga poderá vir a ser usada também como combustíveis em termelétricas. Para isso, são necessárias pesquisas direcionadas para o desenvolvimento de tecnologias que possam melhorar a eficiência de conversão energética, ou ainda incentivos governamentais para a redução de impostos que incidem sobre estes tipos de sistemas de geração. Além de aumentar a oferta de energia ao sistema elétrico, a energia produzida através de biomassa de manejo florestal sustentável, que é uma fonte limpa e renovável, seria uma forma de desenvolvimento social local. Pois a instalação de termelétricas a lenha na região semiárida poderia gerar empregos e renda diversas áreas da região, trazendo benefícios sociais e econômicos potencialmente significativos. O impacto potencial dessa alternativa poderia ser ainda maior se for considerada a possibilidade da co-geração nas termelétricas, o que aumentaria o aproveitamento da lenha como fonte

energética. Sendo assim, seria importante aprofundar os estudos sobre a viabilidade desse processo de conversão energética.

A discussão da fração orgânica dos RSU é feita considerando a Política Nacional de Resíduos Sólidos que foi estabelecida pela Lei 12.305/2012 e regulamentada pelo Decreto 7.404/2010 (Brasil, 2012b). De acordo com essa nova legislação, a partir de 2014 lixões e aterros controlados não serão mais permitidos e todos os rejeitos deverão ser destinados a aterros sanitários. Porém, nos aterros sanitários, só poderão ser depositados resíduos sem qualquer possibilidade de reuso, reaproveitamento ou reciclagem. Dessa forma, a biomassa residual, inclusive a fração orgânica, deverá necessariamente ser processada através de compostagem ou aproveitamento energético. O processamento através da compostagem pode ser limitado pelas grandes quantidades de biomassa disponíveis, o que iria demandar grandes áreas para os pátios de compostagem, além de grandes quantidades de água e energia para a irrigação e movimentação das leiras de composto durante o processo de decomposição, que pode durar meses. Sendo assim, provavelmente, o aproveitamento energético da fração de biomassa dos RSU será um processo que terá grande demanda em curto prazo. A região carece da infraestrutura e de pessoal qualificado para operar os sistemas na escala que será

requerida, ou seja, essa é uma lacuna que deve ser considerada pelos setores competentes.

As oleaginosas selecionadas para esse estudo apresentaram menor contribuição para produção de energia (Figura 2; Tabela 2). Em primeiro lugar, devido à pequena produção de biomassa em relação ao total de biomassa na região. Em segundo porque a destinação prioritária da maioria das oleaginosas é a alimentação humana, uma vez que os preços dos grãos são muito superiores ao preço pago pelo mercado de biodiesel, que seria o processo de aproveitamento energético dos óleos vegetais. No caso da mamona, oleaginosa que não é usada na fabricação de óleo comestível, mas que tem potencial para uso na produção de biodiesel. A mamona tem produtividade baixa na região semiárida e, apesar dos incentivos governamentais dados nos últimos 10 anos a essa cultura, sua adaptação ao Nordeste em condições de sequeiro foi inadequada, de forma que a área efetivamente plantada e a produção de biomassa são relativamente pequenas, com pouca perspectiva de aumento em curto e médio prazo. Uma parte do óleo de soja já é destinada para o biodiesel, pois é a única oleaginosa que tem preço competitivo para esse fim, uma vez que o óleo é um resíduo da produção de ração animal (Menezes et al., 2011).

A biomassa do coco-baía é abundante nos litorais do Ceará, Bahia e Sergipe e nos perímetros irrigados no Vale do São Francisco (Figura 3). Alguns estudos têm

destacado a qualidade da biomassa do coco para a produção de carvão (Vale et al., 2004), o que poderia agregar valor a essa biomassa, que geralmente tem alto teor de água o que encareceria seu transporte. Ceará e da Bahia produzem juntos mais de 9 milhões de toneladas desta biomassa, que poderiam gerar cerca de 1.774 GWh de energia para calor, vapor ou termelétricidade, mas não são usadas.

A biomassa do dendê é abundante no Sudeste da Bahia (Figura 3). Apesar do destaque dentre as fontes oleaginosas, a produtividade anual do dendê no Sul da Bahia é baixa (4 t.ha⁻¹ de cachos), comparada às áreas de cultivo de dendê no Pará (15 t.ha⁻¹ de cachos) e outros locais na região norte do país (MENEZES et al., 2011). Atualmente, o óleo de dendê no Brasil é utilizado primordialmente para fins alimentícios, mas as demais frações dos cachos são subaproveitadas do ponto de vista energético. Melhorias tecnológicas nos sistemas de cultivo do dendê no sul da Bahia ou até aumentos na área cultivada, se houver incentivos para a produção de óleo, poderiam aumentar ainda mais a disponibilidade dessa fonte na região Nordeste.

Alguns tipos de biomassa apresentam grande potencial, mas ainda são subaproveitados para a geração de energia. Um exemplo é a vinhaça, que é gerada em grande escala (Tabelas 1 e 2). Talvez por motivos como a falta de incentivos, desenvolvimento de tecnologia e capacitação,

ainda não está sendo utilizada em grande escala. O uso energético da vinhaça também

tem importância ecológica, pois seu descarte no ambiente pode resultar em contaminação.

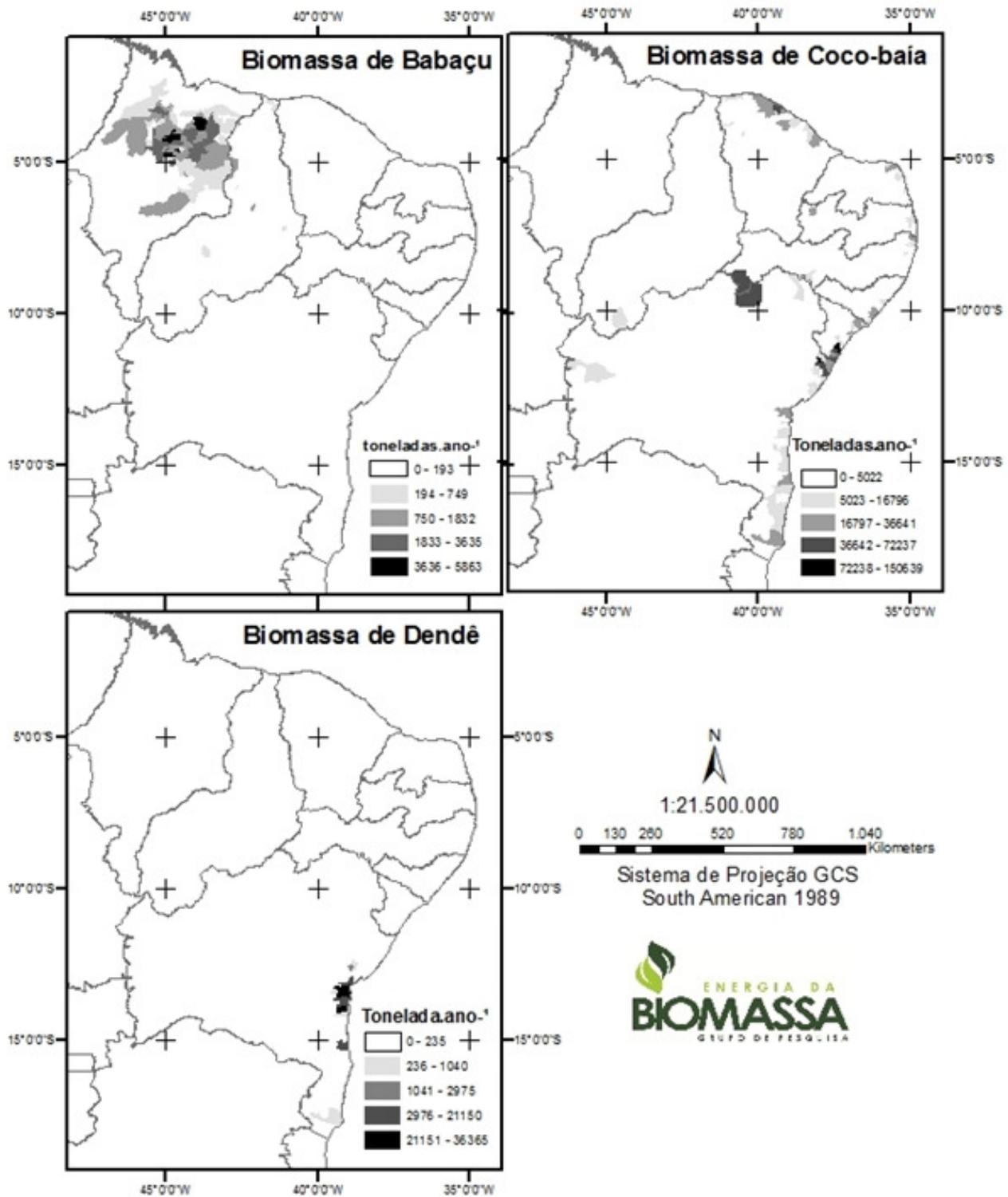


Figura 3: Disponibilidade energética anual de biomassa de babaçu, coco-baía e dendê para produção de energia no Nordeste do Brasil em GWh.

No caso do esterco, podem ser considerados dois destinos possíveis para a geração de energia. O primeiro seria a geração

em grandes propriedades, em que a tecnologia e os custos para instalação de biodigestores e aproveitamento energético do biogás são

viáveis e já amplamente utilizados em outras regiões do Brasil. Entretanto, ainda há necessidade de incentivos adicionais para viabilizar a implantação dos sistemas, como por exemplo, a regulamentação para a venda da energia excedente na rede. O segundo destino seria a biodigestão em pequenas propriedades. Para ela, ainda são necessários investimentos no desenvolvimento de biodigestores de pequena escala, com custo e tecnologia viáveis, e ações de capacitação para facilitar a adoção pelos agricultores.

Conclusão

As fontes de biomassa que apresentaram maior produção anual foram vinhaça, esterco bovino, bagaço de cana-de-açúcar, lenha da caatinga e resíduos sólidos urbanos. Entretanto, após os cálculos da disponibilidade energética, as fontes que apresentaram maior potencial energético foram bagaço de cana, lenha da caatinga, resíduos sólidos urbanos, etanol e coco-baía. As fontes de biomassa selecionadas para o estudo, se utilizadas em sua totalidade para fins energéticos, somariam cerca de 119,5 milhões de toneladas, salientando-se que os valores indicados são valores potenciais extremos, supondo-se o aproveitamento de toda a biomassa disponível.

Nas potencialidades locais, merece destaque a biomassa do coco babaçu, do coco-baía e do dendê. O babaçu apresenta alta produção no Maranhão, região carente de combustível para a produção de ferro gusa. A

biomassa do coco-baía é abundante nos litorais do Ceará, Bahia e Sergipe e nos perímetros irrigados no Vale do São Francisco. A biomassa do dendê é abundante no Sudeste da Bahia. Apesar do destaque dentre as fontes oleaginosas, a produtividade anual do dendê no Sul da Bahia é baixa, comparada às áreas de cultivo de dendê no Pará e no norte do país.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Facepe, projeto APQ-0077-5.01/09.

Referências

- ABRELPE (2011). Panorama dos resíduos sólidos no Brasil. São Paulo: Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais.
- Andrade, A.M.; Passos, P.R.A.; Marques, L.G.C., Oliveira, B.L., Vidaurre, G.B., Rocha, J.D.S. (2004). Pirólise de resíduos do cocoda-baía (*Cocos nucifera* L.) e análise do carvão vegetal. Revista *Árvore*, v. 28, p. 707-714.
- Araújo, G.S. (2008). Produção de biodiesel a partir do óleo de coco (*Cocos nucifera* L.). Dissertação de Mestrado. Natal. UFRN, 104p.
- Brasil. (2007). Balanço nacional da cana-de-açúcar e agroenergia. Brasília: Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.
- Brasil (2011a). Balanço energético nacional. Brasília: Empresa de Pesquisa Energética.
- Brasil (2011b). Decreto Nº 7.404 de 23 de Dezembro de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, Cria o Comitê Interministerial da Política Nacional de Resíduos Sólidos e o Comitê Orientador para

a Implantação dos Sistemas de Logística Reversa, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Poder executivo, Brasília, DF.

Coelho, S.T.; Silva, O.C.; Consiglio, M.; Pisetta, M.; Monteiro, M.B.C.A. (2002). Panorama do potencial de biomassa no Brasil. São Paulo: Agência Nacional de Energia Elétrica.

Coelho, S.T.; Monteiro, M.B.; Ghilardi, A.; Karniol, M.R. (2008). Atlas de bioenergia do Brasil. São Paulo: Centro Nacional de Referência em Biomassa (CENBIO).

Cortez, L.A.B.; Lora, E.E.S.; Gómez, E.O. (2008). Biomassa para energia. Campinas: UNICAMP.

Drummond, A.R.F.; Gazineu, M.H.P.; Almeida, L.; Maior, A.S. (2006). Produção e valor energético da torta de mamona do agreste pernambucano. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 2, 2006, Aracaju. Anais... Aracaju.

Baungratz, K.L.; Oliveira J.B.; Slongo, N.; Frigo, E. P.; Zanon, E. (2013). Produção de biogás a partir de biomassa residual. Acta Iguazu, Cascavel, v.2, n.3, p. 30-39.

Furlan Júnior, J. (2006). Dendê: manejo e uso dos subprodutos e dos resíduos. Belém: Embrapa/MAPA.

Garrido, M.S.; Sampaio, E.V.S.B.; Menezes, R.S.C. (2008). Potencial de adubação orgânica com esterco no Nordeste do Brasil. In: Menezes, R.S.C (Org.); Sampaio, E.V.S.B. (Org.); Salcedo, I. H. (Org.). Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido. Recife: Editora Universitária UFPE, 284 p.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2012). Disponível em: <<http://ibge.gov.br>>. Acesso em 01 de março de 2012.

Knothe, G.; Gerpen, J.V.; Krahl, J.; Ramos, L.P. (2006). Manual do biodiesel. São Paulo: Editora Blucher.

Gazzoni, D.L.; Felici, P.H.N.; Coronato, R.M.S.; Ralisch, R. (2005). Balanço energético das culturas de soja e girassol para produção de biodiesel. Biomassa & Energia, v.2, n.4, p. 259-265.

Lima, J.L.S.; Sá, I.B.; Serpa, F.G.; Mendonça, A.L.; Duarte, E.S. (1996). Características físico-mecânicas e energéticas de madeiras do trópico semi-árido do Nordeste do Brasil. Comunicado Técnico. Embrapa Cptsa, Petrolina, v.1, n.1, p. 1-14.

Meneghetti, S.M.P.; Meneghetti, M.R.; Medeiros, A.C. (2007). Obtenção de biodiesel metílico e etílico a partir do óleo de amendoim (*Arachis hipogaea*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CATÁLISE, 14, 2007. Anais... Recife: Editora Universitária da UFPE.

Menezes, R.S.C.; Lima, J.P.R.; Sampaio, E.V.S.B.; Sicsú, A.B.; Freitas, A.D.S.; Lopes, G.M.B.; Silveira, H.L.F.; Mendes, L.N.; Garrido, M.S.; Ferreira, M.O.; Wanderley, M.B.; Silveira, S.K. (2011). Produção de óleos vegetais em Pernambuco para conversão em biodiesel diagnóstico e indicação de alternativas. Recife: Editora Universitária UFPE. p. 242.

Paro, A.C.; Costa, F.C.; Coelho, S.T. (2008). Estudo comparativo para o tratamento de resíduos sólidos urbanos: aterros sanitários x incineração. Revista Brasileira de Energia, v. 14, n. 2, p. 113-125.

Rego, E.E.; Hernández, F.D.M. (2006). Eletricidade por digestão anaeróbia da vinhaça de cana-de-açúcar: contornos técnicos, econômicos e ambientais de uma opção. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., Campinas. Proceedings online...Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000100053&lng=en&nrm=abn>. Acesso em: 20 dez. 2011.

Salomon, K.R.; Lora, E.E.S. (2005). Estimativa do potencial de geração de energia elétrica para diferentes fontes de biogás no Brasil. *Biomassa e Energia*, v. 2, n. 1, p. 57-67.

Sampaio, E.V.S.B.; Freitas, A.D.S. (2008). Produção de biomassa na vegetação nativa do semi-árido nordestino. In: Menezes, R.S.C.; Sampaio, E.V.S.B.; Salcedo, I.H. (Eds.). *Fertilidade do solo e produção de biomassa no semi-árido*. Recife: Editora Universitária UFPE, p. 11-25.

Silva, M.S.; Macedo, L.C.; Santos, J.A.B.; Moreira, J.J.S.; Narain, N.; Silva, G.F. (2010). Aproveitamento de co-produtos da cadeia produtiva do biodiesel de mamona. *Revista Exacta*, v. 8, n. 3, p. 279-288.

Teixeira, M. A. (2011). Estimativa do potencial energético na indústria do óleo de babaçu no Brasil. In: *ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL*, 3, 2000, Campinas. *Proceedings online...* Disponível em: [http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=M SC00000000 22000000200045&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=M%20SC0000000022000000200045&lng=en&nrm=abn)>. Acesso em setembro de 2011.

Vale, A.T.; Barroso, R.A.; Quirino, W.F. (2004). Caracterização da biomassa do coco-baía (*Cocos nucifera* L.) para uso energético. *Biomassa e Energia*, v. 1, n. 4, p. 365-370.