

ANÁLISE ENERGÉTICA DA PRODUÇÃO DE PALMA DE ÓLEO (*Elaeis guineenses* Jacq.) NO ESTADO DO PARÁ

MATEUS DE OLIVEIRA SILVA¹, SHIRLEY DA COSTA LIMA², MYRELLA KATLHEN DA CUNHA DE ARAUJO³, CARLOS RENATO GUEDES RAMOS⁴, RAFAELLY SUZANYE DA SILVA SANTOS⁵, MAGNUN ANTONIO PENARIOL DA SILVA⁶

¹ Bacharel em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, (PA 451, Km 03, Bairro Açãizal, 68680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil) e mateuseng.agricola@gmail.com.

² Bacharel em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, (PA 451, Km 03, Bairro Açãizal, 68680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil) e shirleylimatst@gmail.com.

³ Acadêmica do curso de Bacharelado em Engenharia Agrícola, Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, (PA 451, Km 03, Bairro Açãizal, 68680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil) e myrellakaraujo@gmail.com.

⁴ Professor adjunto C da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Tomé-Açu/PA, (PA 451, Km 03, Bairro Açãizal, 68680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil) e carlosrgramos@outlook.com.

⁵ Professora adjunta C da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Tomé-Açu/PA, (PA 451, Km 03, Bairro Açãizal, 68680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil) e rafaellysuzanye@gmail.com.

⁶ Orientador. Professor adjunto C da Universidade Federal Rural da Amazônia, Campus de Tomé-Açu/PA, (PA 451, Km 03, Bairro Açãizal, 68680-000, Tomé-Açu, Pará, Brasil) e penariol@gmail.com.

RESUMO: A palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) é uma espécie originária da costa africana com expressiva produção em todo mundo. As principais regiões produtoras no Brasil são norte e nordeste, com destaque aos estados do Pará, Bahia e Roraima. O objetivo foi realizar uma análise energética de produção de palma de óleo em três municípios do estado do Pará (Tomé-Açu, Moju e Tailândia), identificando o quantitativo de energia investida nas atividades de manejo cultural e a energia obtido através do beneficiamento e produção do biodiesel. Portanto, o estudo foi realizado em fazendas da empresa Belém Bioenergia Brasil localizadas nos municípios de Tomé-Açu, Moju e Tailândia. Os dados coletados foram sobre as operações de limpeza, adubação e colheita de toda área produtiva. Como resposta, a entrada cultural foi de 821739762,50 MJ, saída útil de 1106150299,00 MJ, energia cultural líquida de 284415536,30 MJ e eficiência cultural de 1,34. Também, o maior consumo de energia foi direcionado a aplicação de fertilizante nitrogenado (N) com gasto energético de 562789633,3 MJ. Com todas as entradas e saídas, a produção do dendê foi considerada uma atividade viável.

Palavras-chaves: biocombustível, dendê, balanço energético.

ENERGY ANALYSIS OF PALM OIL PRODUCTION (*Elaeis guineenses* Jacq.) IN THE STATE OF PARÁ

ABSTRACT: The oil palm (*Elaeis guineenses* Jacq.) is a species originally from African coast with significant production worldwide. The main producing regions in Brazil are north and northeast, with emphasis in the state of Pará, Bahia and Roraima. The aim of this study was to conduct an energy analysis of oil palm production in three municipalities in the state of Pará (Tomé-Açu, Moju and Tailândia), identifying the amount of energy invested in cultural management activities and the energy obtained through processing and production of biodiesel. Therefore, the study was carried out on farms owned by the company Belém Bioenergia Brasil located in the municipalities of Tomé-Açu, Moju and Tailândia. The data collected were about the cleaning, fertilizing and harvesting operations of the entire productive area. In response, cultural input was 821739762.50 MJ, useful output of 1106150299.00 MJ, net cultural energy of 284415536.30 MJ and cultural efficiency of 1.34. Also, the highest energy consumption was directed to the application of nitrogen fertilizer (N) with an energy expenditure of 562789633.3 MJ. With all inputs and outputs, oil palm production was considered a viable activity.

Keywords: biofuel, oil palm, energetic balance.

1 INTRODUÇÃO

A palma de óleo (*Elaeis guineenses* Jacq.) é uma espécie originária do ocidente africano, implementada no Brasil em meados do século XVI e com boa adaptação no litoral da Bahia. Além disso, apresenta expressiva produção em todo o mundo, com média de 4 a 6 toneladas de óleo por hectare; mais representativo que o óleo de coco, e com produção dez vezes superior ao óleo de soja (LEBID; HENKES, 2015).

No Brasil, a atividade tem destaque nas regiões norte e nordeste. A região norte é responsável por 90% da produção de palma de óleo no Brasil, totalizando um volume de 770 mil toneladas por ano (IOS, 2013). Como justificativa à elevada produção paraense, são atribuídos benefícios como recuperação de áreas degradadas e substituição de pastagens e terras abandonadas por outras atividades agrícolas (BECKER, 2010).

A escala de produção do dendê é atribuída ao vasto aproveitamento da espécie. Do fruto da palma de óleo é possível extrair o óleo de palma (proveniente do mesocarpo do fruto) e o óleo de palmiste (extraído do endocarpo). Logo, destinados às indústrias de alimentos (margarina, biscoito, tortas e sorvestes), de higiene (sabão, sabonetes, detergentes e cosméticos), e química (lubrificantes, óleos, glicerina, ácidos e biocombustível) (BRASIL, 2010; NAHUM; SANTOS, 2018).

Assim, realizar a análise energética de agrossistemas possibilita avaliar a viabilidade das produções, pois torna possível quantificar o aporte de energias não renováveis em relação à energia total empregada no processo. Com isso, estudos de eficiência e balanço energético possibilitam determinar a relação de dependência do sistema de produção e recursos naturais (COMITRE, 1993).

Estudos de Martins et al. (2015), Jasper et al. (2010) e Veloso et al. (2012) demonstram que a análise energética é realizada para diversas culturas. O balanço energético tem

como base a conservação de energia, princípio físico também conhecido como termodinâmica, no qual o balanço de energia de um sistema é usado para explicar a variação de energia, entrada e saída (VELOSO et al., 2012).

Dessa forma, o objetivo foi realizar uma análise energética de produção de palma de óleo em 23 fazendas, distribuídas em três municípios do estado do Pará (Tomé-Açu, Moju e Tailândia), identificando o quantitativo de energia investida nas atividades de manejo cultural e a energia obtida através do beneficiamento e produção do biodiesel.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Local de estudo

A pesquisa foi realizada em três municípios do estado do Pará: Tomé-Açu/PA, com coordenadas geográficas (2° 24' 53" sul, 48° 8' 60" oeste), Tailândia/PA com coordenadas geográficas (2° 56' 50" sul, 48° 57' 12" oeste) e Moju/PA (1° 53' 5" sul, 48° 45' 55" oeste).

O clima do município de Tomé-Açu é classificado como Ami (SANTOS et al., 2019), o de Tailândia é classificado como Afi (MONTEIRO et al., 2009) e o de Moju é do tipo Afi, segundo a classificação de Köppen (SILVA; GAMA; MONTEIRO, 2019).

2.2 Coleta de dados

O estudo foi realizado em 23 fazendas produtoras de dendê, da empresa Belém Bioenergia Brasil, distribuídas nos três municípios. Dessa forma, foram obtidos dados sobre a operação de toda área de produção das propriedades e, posteriormente, realizadas as conversões dos valores para megajoule (MJ), equivalente a 10⁶ joules (J), unidade derivada no S.I.

As fazendas estudadas foram citadas no decorrer do trabalho de acordo com a numeração contida na tabela 1.

Tabela 1. Lista das fazendas produtoras de palma de óleo localizadas nos municípios de Tomé-Açu, Moju e Tailândia (PA) pertencentes à empresa Belém Bioenergia Brasil, 2019.

Numeração	Municípios	Fazenda
1	Tailândia	Agropisa
2	Moju	Alta Floresta
3	Moju	Arizona
4	Moju	Bacuri
5	Tailândia	Eloisa
6	Tailândia	Lago Azul
7	Moju	Manaíra
8	Moju	Manaíra II e III
9	Moju	Manaíra IV
10	Tailândia	Mojuana
11	Tailândia	Monte Sinai
12	Tailândia	Nelore
13	Moju	Perola Negra
14	Moju	Perpétuo Socorro
15	Tomé-Açu	Primavera
16	Tailândia	Primavera II
17	Tomé-Açu	Recanto
18	Tailândia	Santo Antônio
19	Tailândia	São Felipe
20	Tailândia	São Francisco
21	Tailândia	Sonho Real
22	Tomé-Açu	Spricigo
23	Moju	Vitória

Os dados coletados foram de consumo de combustível para as operações, quantidade utilizada de fertilizantes, mão de obra remunerada durante o período analisado, tipo de defensivo aplicado e quantidade utilizada.

2.3 Análise energética

De acordo com a metodologia de Bonny (1993), são classificadas como energia direta, as formas de energia biológica e fóssil. No presente estudo foram considerados, energia

biológica: mão de obra e mudas, e energia fóssil: óleo diesel e demais combustíveis.

A energia indireta (industrial) foi admitida para estimar a produção de óleo a partir do volume de colheita e determinar a energia de saída do sistema de produção (*output*).

Isto posto, foi realizado o somatório das energias diretas e indiretas na produção do óleo de palma, tanto para energia consumida quanto energia de saída, a partir das equações 1 e 2 (VELOSO et al., 2012).

$$\sum E_{\text{Consumo}} = \sum E_{\text{consumodireto}} + \sum E_{\text{consumoindireto}} \quad (1)$$

$$\sum E_{\text{saída}} = \sum E_{\text{saídadireta}} + \sum E_{\text{saídaindireta}} \quad (2)$$

Logo, com os valores obtidos é calculada a eficiência energética (equação 3).

$$Ef = \frac{\Sigma E_{saída}}{\Sigma E_{consumo}} \quad (3)$$

Os valores considerados no somatória da energia de saída foram:

Mão de obra: Seguiu-se a metodologia proposta por Carvalho, Gonçalves e Ribeiro (1974) e descrita por Bueno (2002), em que a mão de obra foi relativa ao cálculo de energia investida pelos trabalhadores rurais durante as atividades no itinerário técnico.

Insumos: Foi realizada a multiplicação dos valores de massa (Kg) e volume (L) pelos valores energéticos de referência, descritos em MJ por Bueno (2002): N nitrogênio 62,61 MJ kg⁻¹; P₂O₅ pentóxido de fósforo 9,63 MJ kg⁻¹; K₂O óxido de potássio 9,21 MJ kg⁻¹, com acréscimo de 0,50 MJ no valor dos fertilizantes que correspondem a energia despendida no transporte (ANDA, 2009).

Fungicidas e herbicidas: Foram adotados os coeficientes energéticos apontados por Pimentel e Burgess (1980), com necessidade na formulação de 271,71 MJ de fungicida e 631,83 MJ de herbicida, por kg de ingrediente ativo.

Combustíveis: Na tabulação da energia de óleo diesel e óleo lubrificante foi declarado o uso do coeficiente 40,88 MJ L⁻¹ (JASPER et al., 2010).

Os valores coletados foram tabulados no *software* Excel 2013 e classificados em duas categorias: energia de entrada (*in-puts*) e energia de saída (*out-puts*).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Produtividade de cachos e de óleo

O rendimento de cachos de palma de óleo de todas as fazendas estudadas foi de

aproximadamente 10 t/ha. Comparado às estimativas do Governo do Estado do Pará (2018), o valor foi abaixo do esperado (20 a 22 t/ha de cacho fresco).

Entre as fazendas estudadas, o ressaltado na produtividade de cachos de palma de óleo foi da fazenda 17 (Recanto), que produziu 22 t/ha de cachos, e da fazenda 23 (Vitória), que produziu 21 t/ha de cachos. As fazendas 2 (Alta Floresta) e 6 (Lagoa Azul) obtiveram produção de cachos de 19 t/ha e 16 t/ha respectivamente, correspondente a 28% da produtividade das áreas.

Com isso, as fazendas 17 (Recanto) e 23 (Vitória) foram as únicas com produtividade equivalente à faixa de produtividade de 20 a 22 t/ha esperada pelo Governo do Estado do Pará (2018), embora os destaques de produção total tenham sido as fazendas 2 (Alta Floresta) e 7 (Manaira).

A média de produtividade de óleo foi 2,4 t/ha, valor inferior a 3,7 t/há, estimado pela Malaysian Palm Oil Promotion Consul (2020). Como justificativa, a baixa produtividade de óleo foi reflexo da produção obtida na maioria das fazendas. Entretanto, as fazendas 17 (Recanto) e 23 (Vitória) tiveram produtividade de 4,8 t/ha e 4,6 t/ha de óleo, superiores ao relatado pela Malaysian Palm Oil Promotion Consul (MPOPC); condição que reforça o desempenho superior dessas fazendas em comparação às demais.

3.2 Consumo Energético

A quantidade de energia em (MJ) investida na aplicação de herbicida nas áreas para controle de erva daninha foi verificada de acordo com os elementos que configuram a atividade: herbicida (ingrediente ativo) aplicado, combustível consumido e mão de obra, como exposto na Tabela 2.

Tabela 2. Consumo de energia em MJ na atividade de aplicação de herbicida para controle de ervas daninhas em 23 fazendas, referente ao herbicida aplicado, combustível e mão de obra usados na operação de controle de ervas daninhas no ano de 2019.

Fazenda	Defensivo (MJ)	Combustível (MJ)	Mão de obra (MJ)
1	220694,665	72071,44	237,6
2	642009,919	209658,8032	615,6
3	109022,914	35603,2096	126,9
4	53998,2137	17633,9968	56,7
5	312212,223	101957,9904	240,3
6	125075,666	40845,49728	183,6
7	3166434,42	1034050,77	3021,3
8	1933325,32	631358,896	1620
9	500574,056	163470,617	405
10	152275,563	49728,0672	153,9
11	294371,382	96131,7728	278,1
12	194686,994	63578,2112	207,9
13	195788,59	63937,9552	194,4
14	n/d	n/d	n/d
15	655048,805	213916,864	595,35
16	132456,857	43255,9456	128,25
17	1863814,64	608659,0496	2403
18	n/d	n/d	n/d
19	794956,454	259605,9872	1101,6
20	n/d	n/d	n/d
21	135555,846	44267,97088	180,9
22	n/d	n/d	n/d
23	751107,942	245286,5408	739,8
Total	5,567,190,786	27,471,574,611	12490,2

* n/d= não disponível.

A média de energia utilizada para aplicação de defensivos foi de 242051773,3 MJ, combustível consumido de 1194416287 MJ e mão de obra de 543,0521739 MJ. Desse modo, as variáveis defensivo, combustível e mão de obra tiveram consumo energético elevado na fazenda 7 (Manaíra), compreendido pela quantidade de defensivos aplicados na área.

Em contrapartida, as fazendas 14 (Perpétuo Socorro), 18 (Santo Antônio), 20

(São Francisco) e 22 (Spricigo) não apresentaram valores de defensivos, combustível e mão de obra devido ao controle nessas áreas ser realizado somente com roçagens.

Os valores em MJ investidos na atividade de colheita mecanizada do cacho por fazenda foram observados em função da mão de obra utilizada e do combustível consumido, como exibido na Tabela 3.

Tabela 3. Energia em MJ investida em 2019 na mão de obra e combustível para realização da colheita mecanizada da palma de óleo nas 23 fazendas estudadas.

Fazenda	Combustível (MJ)	Mão de obra (MJ)
1	696920,91	17796,15
2	2552107,02	272320098,10
3	361924,74	31264753,46
4	175007,28	12349335,59
5	862083,67	70372707,55
6	431199,79	45008980,13
7	4683359,05	220713366,90
8	2673004,31	127458922,19
9	190855,84	3199509,936
10	604891,34	48247637,26
11	947909,19	100377313,3
12	627803,87	56446337,81
13	887778,40	85713922,22
14	663218,41	49314395,59
15	889314,76	63289878,12
16	137308,46	6585792,696
17	2268862,28	217532258
18	575962,91	60258501,07
19	1849682,34	188800697,2
20	916275,02	56200785,98
21	439154,42	45989382,1
22	235294,54	18720613,3
23	1333037,83	110211997,9
Total	25002956,41	1890394983

O investimento médio na atividade de colheita mecanizada do cacho (MJ) por fazenda, foi de 507213578,8 MJ em combustível consumido e 1087085,06 MJ em mão de obra. Com os dados é notória a expressiva utilização de combustível da fazenda de número 7 (Manáira), e o maior uso de mão de obra na fazenda 2 (Alta Floresta);

uma condição que pode estar ligada às práticas de manejo mecanizado e manual das fazendas.

Na Tabela 4, são apresentados os valores em MJ investidos na roçagem mecânica entre plantas para cada fazenda, sendo organizada em valores para o combustível utilizado e a mão de obra destinada para essa função.

Tabela 4. Total de energia em MJ investida na atividade de roçagem entre plantas em 2019 para cada uma das 23 fazendas estudadas.

Fazenda	Mão de obra MJ	Combustível MJ
1	51,3	6531,96
2	n/d	n/d
3	n/d	n/d
4	n/d	n/d
5	639,9	101966,32
6	n/d	n/d
7	3956,85	331290,37
8	2311,2	145631,72
9	1209,6	76112,67
10	n/d	n/d
11	n/d	n/d
12	164,7	26755,96
13	n/d	n/d
14	526,5	65006,23
15	67,5	12305,69
16	85,05	14758,33
17	1458	191819,42
18	n/d	n/d
19	n/d	n/d
20	2405,7	156357
21	n/d	n/d
22	n/d	n/d
23	652,05	112859,37
Total	13528,35	1241395,11

* n/d= não disponível.

A aplicação energética média na roçagem mecânica entre plantas (MJ) foi de (53973,69739 MJ) em combustível e 588,1891304 MJ em mão de obra. Dessa forma, o maior consumo de combustível na atividade de roçagem entre plantas ocorreu na fazenda 7 (Manaíra), com 331290,37 MJ e 26,68 % de participação, seguido pela fazenda 17 (Recanto), com 191819,42 MJ e 15,45 % de participação e fazenda 20 (São Francisco) com 156357,00 MJ e 12,59 % de participação. Assim, reitera Jasper (2010) que o dispêndio energético direto se dá em maior volume no consumo de óleo diesel, devido ao uso intenso de máquinas no manejo cultural.

O investimento energético feito pela mão de obra na atividade de roçagem entre plantas também foi expressivo na fazenda 7 (Manaíra), liderando com 29,24 % (3956,85 MJ), sucedido pela fazenda 20 (São Francisco) com 17,78 % (2405,7 MJ) e fazenda 8 (Manaíra II e III) com 17,08 % (2311,2 MJ).

A energia investida na atividade de roçagem mecanizada para controle de erva daninha em todos os talhões, foi verificada em relação à mão de obra e ao combustível consumido nessa atividade, como demonstra a Tabela 5.

Tabela 5. Energia (MJ) despendida na atividade de roçagem de área completa em 2019 para cada fazenda estudada.

Fazenda	Mão de obra (MJ)	Diesel (MJ)
1	91,8	13062,30
2	693,9	209669,26
3	159,3	35764,60
4	81	22193,58
5	n/d	n/d
6	383,4	81676,44
7	472,5	43706,44
8	4264,65	800039,26
9	1657,8	238331,05
10	207,9	50703,79
11	602,1	95869,32
12	405	63553,84
13	124,2	15190,68
14	218,7	67312,02
15	799,2	179880,83
16	170,1	42672,83
17	2251,8	416664,65
18	297	56358,80
19	43,2	6540,8
20	970,65	308482,11
21	267,3	44105,26
22	83,7	26476,99
23	823,5	207389,96
Total	14098,05	3025644,81

* n/d= não disponível.

A energia média utilizada na atividade de roçagem mecanizada, para controle de erva daninha em todos os talhões foi de 612,9587 MJ para a mão de obra e 131549,7743 MJ em combustível consumido. Dessa forma, os maiores investimentos foram em mão de obra (28,30 %) e combustível (26,44 %) para a fazenda 8 (Manaira II e III), e (14,94 %) em

mão de obra e (13,77 %) em combustível para a fazenda 17 (Recanto).

A Tabela 6 mostra a quantidade de energia investida para a realização do manejo nutricional das plantas, com dados de energia dirigida aos três macronutrientes analisados, nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), mão de obra e combustível consumido nas operações de aplicação.

Tabela 6. Saída (*in-put*) energética em MJ para as 23 fazendas na atividade de adubação mecanizada, 2019.

Fazenda	N (MJ)	P (MJ)	K (MJ)	Mao de obra (MJ)	Diesel (MJ)
1	12988174	1690363,1	3086313	383,4	144963,8
2	37570650,7	4889682,2	8927720,5	1099,7	419334
3	6380397,3	830385,3	1516141	199,8	71213
4	1938981,5	252351,3	460750,2	56,7	21641,4
5	16066367,8	2090978,8	3817768,3	445,5	179320,1
6	7317048,4	952287	1738712,6	226,8	81667,1
7	85984914,7	11190620,8	20432153,1	3445,2	959695,8
8	168832241,6	21972896,1	40118737,3	774574,7	1884372
9	22675668,2	2951154,9	5388302,4	1066,5	253087,9
10	8784070,9	1143214,6	2087313,6	256,5	98040,9
11	17218077,1	2240869,5	4091443,1	494,1	192174,6
12	11388342,5	1482151	2706153,3	334	127107,7
13	12809903,8	1667161,9	3043951,6	361,8	142974
14	12063009,1	1569956,3	2866470,8	310,5	134637,8
15	9443867	1229084,6	2244097,5	270	105405
16	1915686,8	249319,6	455214,8	64,8	21381,4
17	36416011,2	4739410,1	8653349,5	909,9	406446,8
18	10136290,3	1319201	2408634,5	286,2	113133,3
19	34549580,2	4496501	8209839,1	974,7	385615,2
20	13810901	1797438	3281813,4	402,3	154146,4
21	7956113,7	1035459	1890570,4	256,5	88799,9
22	4744407,7	617467,2	1127389,2	124,2	52953,3
23	21798865,4	764,1	243301,7	2837042,3	5179952
	562789570,9	70408717,4	128796140,9	3623586,1	11218064

Como resposta, a fazenda 8 (Manaíra II e III) foi a que mais investiu energia na aplicação dos fertilizantes; quase o dobro do investido na fazenda 7 (Manaíra).

3.3 Análise energética das atividades de produção

Na operação de aplicação do herbicida (Tabela 7), ocorreu alto gasto energético na

forma indireta, ultrapassando 75 % do total da energia gasta na operação, com entrada cultural de 12233410,5 MJ. Por certo, o herbicida foi responsável por 100% da demanda da energia indireta. Ainda, o consumo fóssil em óleo diesel representou 99,7 % do total de energia dispendida diretamente, com entrada cultural de 3995019,6 MJ.

Tabela 7. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma em MJ, e participações percentuais na operação de aplicação de herbicida.

Tipo fonte forma		Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
Energia direta		4007509,8	24,67
Biológica	Mão de obra	12490,2	0,07
Fóssil	Óleo diesel	3995019,6	24,59
Energia indireta		12233410,5	75,32
Industrial	Herbicida	12233410,5	75,32
Total		16240920,3	100

O exercício de adubação mecanizada (Tabela 8) apresentou elevado gasto energético na forma indireta, transcendeu 99% do total da energia gasta no procedimento. Portanto, distribuído entre: Nitrogênio (N), com entrada cultural de 562789633,3 MJ, Fósforo (P) com

73245005,17 MJ e Potássio (K) 133732800,6 MJ. Além disso, dentro da energia direta o consumo representou 0,9 % de participação, contando com 787307,85 MJ em mão de obra e 6281454,01 MJ em óleo diesel.

Tabela 8. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma em MJ, e participações percentuais na operação de adubação mecanizada.

Tipo fonte forma		Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
Energia direta		7068761,86	0,9
Biológica	Mão de obra	787307,85	0,1
Fóssil	Óleo diesel	6281454,01	0,8
Energia indireta		769767439,1	99,1
Industrial	Nitrogênio	562789633,3	72,4
Industrial	Fósforo	73245005,17	9,4
Industrial	Potássio	133732800,6	17,2
Total		776836200,9	100,0

A atividade de roçagem entre plantas (Tabela 9) não admitiu dispêndio em energia indireta. Contudo, como fonte de energia direta

fóssil, o consumo de óleo diesel foi de 98,92 % e em mão de obra de 1,07 %.

Tabela 9. Entrada de energia, por tipo, fonte e forma em MJ, e participações percentuais na operação de roçagem entre plantas.

Tipo fonte forma		Entradas culturais (MJ)	Participação (%)
Energia direta		1254923,461	100
Biológica	Mão de obra	13528,35	1,07
Fóssil	Óleo diesel	1241395,111	98,92
Energia indireta		n/d	n/d
Total		1254923,461	100

* n/d= não disponível.

Quando à roçagem de área, também foi ausente o dispêndio em energia indireta. Porém, a energia direta fóssil foi de 99,51 % em óleo diesel e 0,49 % em mão de obra.

Do mesmo modo, a operação de carreamento mecanizado não apresentou valores em relação ao dispêndio em energia indireta. Mas a energia direta teve dispêndio de 98,69 % em mão de obra e 1,30 % em óleo diesel.

3.4 Matriz energética da produção da palma de óleo

Considerando uma produção total de 129384,65 toneladas, todas as fazendas demonstraram 820577903,9MJ em energia despendida.

Eventualmente, como fonte de energia direta fóssil, as entradas culturais foram de 1156858,59 MJ em mão de obra e 38577054,45 MJ em óleo diesel. A fonte de energia indireta industrial teve entrada cultural de 12233410,47 MJ em herbicida, 562789633,30 MJ em nitrogênio (N), 73245005,17 MJ em fósforo (P) e 133732800,60 MJ em potássio (K), como demonstrado na tabela 10.

Tabela 10. Estrutura de dispêndios, por tipo, fonte e forma; “entradas” culturais, “saídas” úteis, energia cultural líquida e eficiência cultural da produção de palma de óleo considerando as 23 fazendas.

Tipo fonte forma		Entradas culturais (MJ)
Energia direta		39733913,04
Biológica	Mão de obra	1156858,59
Fóssil	Óleo diesel	38577054,45
Energia indireta		782000849,5
Industrial	Herbicida	12233410,47
Industrial	Nitrogênio	562789633,3
Industrial	Fósforo	73245005,17
Industrial	Potássio	133732800,6
"Entradas" culturais		821734762,5
"Saídas" úteis		1106150299
Energia cultural líquida		284415536,3
Eficiência cultural		1,34

Destarte, a entrada cultural total foi de 821739762,50 MJ, saída útil de 1106150299,00 MJ, energia cultural líquida de 284415536,30 MJ e eficiência cultural de 1,34. A eficiência cultural de 1,34 significa que a cada unidade de energia aplicada na cultura, o retorno foi de 0,34 unidade de energia, semelhante ao previsto no estudo de Costa et al. (2006), cuja eficiência cultural foi entre 1,20 a 4,9.

Também, o maior consumo de energia no sistema em estudo correspondeu ao fertilizante, pois o fertilizante nitrogenado (N) foi o principal gasto energético 562789633,3 MJ, semelhante ao estudo de Costa et al. (2006) e Jasper (2010), nos quais os fertilizantes foram o ponto de maior dispêndio energético.

Nessa perspectiva, o balanço energético da produção de palma de óleo foi positivo, com energia cultural/líquida de 284415536,3 MJ e

eficiência cultural de 1,34. Portanto, energeticamente a produção do dendê é viável.

4 CONCLUSÕES

Dentre as fazendas estudadas, a fazenda 7 (Manáira) demonstrou expressiva utilização energética nas atividades: aplicação de herbicida, colheita mecanizada, roçagem de área e roçagem entre plantas. Contudo, o maior dispêndio energético ocorreu na aplicação de fertilizantes, logo, os fertilizantes nitrogenados são os que mais consomem energia (562789633,3 MJ). Para mais, a energia proveniente do beneficiamento e produção do biodiesel teve entrada cultural de 821739762,50 MJ, saída útil de 1106150299,00 MJ, energia cultural líquida 284415536,30 MJ e eficiência cultural de 1,34.

5 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO NACIONAL PARA DIFUSÃO DE ADUBOS. **Estatísticas:** produção nacional de fertilizantes intermediários e importação de fertilizantes intermediários. São Paulo: ANDA, 2009. Disponível em: www.anda.org.br/estatisticas.aspx. Acesso em: 31 maio 2019

BECKER, B. K. Recuperação de áreas desflorestadas da Amazônia: será pertinente o cultivo da palma de óleo (Dendê)? **Confins**, Online, n. 10, 2010. DOI: <https://doi.org/10.4000/confins.6609>. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/6609?lang=pt#quotation>. Acesso em: 15 mar. 2019.

BONNY, S. Is agriculture using more and more energy? A French case study. **Agricultural Systems**, Kidlington, v.43, n.1, p.51-66, 1993.

BRASIL. **Programa de Produção Sustentável de Óleo de Palma no Brasil. Folheto explicativo.** (2010). Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Palma_de_oleo/1_reuniao/Programa.pdf>. Acesso em: 14 de abril de 2015.

BUENO, O. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural.** 2002. 146 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

CARVALHO, A.; GONÇALVES, G.G.; RIBEIRO, J.J.C. **Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de "Torres".** Oeiras: Instituto Gulbenkian de Ciência, Centro de Estudos de Economia Agrária, 1974. 79 p.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filière soja na região de Ribeirão Preto - SP.** 1993. 152 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Agropecuário) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 1993.

COSTA, R. E.; LORA, E. E. S.; YANEZ, E.; TORRES, E. A. Balanço energético preliminar da produção do biodiesel de óleo de palma para as condições do Brasil e da Colômbia. *In: Encontro de energia no meio rural*, 6, 2006, Campinas. **Proceedings online** [...]. Campinas, p. 1-10, 2006.

GOVERNO DO ESTADO DO PARÁ. Secretaria de desenvolvimento agropecuário e da pesca. **Dendê.** Cidade: SEDAP, 2018. Disponível em: <http://www.sedap.pa.gov.br/content/dend%C3%AA>. Acesso em: 05 abr. 2020.

IOS – Instituto Observatório Social. O comportamento sócio-trabalhista na produção do óleo de palma do dendê no Estado do Pará com foco nas empresas Agropalma, Biovale/Biopalma, Petrobras combustíveis. **Relatório.** São Paulo: IOS, 2013. p. 80.

JASPER, S. P.; BIAGGIONI, M. A. M.; SILVA, P. R. A.; SEKI, A. S.; BUENO, O. C. Análise Energética da Cultura do Crambe (*Crambe abyssinica* Hochst) Produzida em Plantio Direto. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 3, p. 395-403, 2010.

LEBID, T.; HENKES, J. A. Óleo de dendê na produção de biodiesel: um estudo de caso das vantagens e desvantagens econômica, ecológica e social da cultura desta oleaginosa para a produção de biodiesel. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, Florianópolis, v. 4, n. 1, p. 392- 415, 2015.

MARTINS, F. G. L.; BARBOSA, J. A.; CARVALHO, R. C. S.; VELOSO, A. V.; MARIN, D. B. Análise energética da produção de milho para silagem cultivado em diferentes espaçamentos. **Energia na agricultura**, Botucatu, v. 30, n. 4, p. 418-428, 2015.

MPOC - Malaysian Palm Oil Promotion Consul. **Palm oil.** (2020). Disponível em:<<http://mpoc.org.my/>>. Acesso em: 05 de abril de 2020.

MONTEIRO, K. F.G.; KERN, D. C.; RUIVO, M. L. P.; RODRIGUES, T. E.; FARIAS, P. R. S.; COSTA, M. L.; FRAZÃO, F. J. L.; ROCHA, J. B.; SILVEIRA, I. J. M.; BARBOSA, H. D. A.; COMETTI, J. L. S. **Uso de resíduos vegetais no solo: subsídios para a formação de terra preta nova em Tailândia (PA).** *In: TEIXEIRA, W. G.; KERN, D. C.; MADARI, B. E.; LIMA, H. N.; WOODS, W. (ed.). As terras pretas de índio da Amazônia: sua caracterização e uso deste conhecimento na criação de novas áreas.* Manaus, AM: Embrapa Amazônia Ocidental, 2009. p. 314-327.

NAHUM, J. S.; SANTOS, C. B. Dendê para quê? Dendê para quem? A ideologia da fronteira na Amazônia paraense. **Revista NERA**, Presidente Prudente, v.21, n. 42, p. 113-134, 2018.

PIMENTEL, D; BURGESS, M. Energy inputs in corn production. *In: PIMENTEL, D. (Ed.). Handbook of energy utilization in agriculture.* Boca Raton: CRC Press, 1980. p. 67-84.

VELOSO, A. V.; CAMPOS, A. T.; DE PAULA, V. R.; DOURADO, D. C.; YANAGI JÚNIOR, T.; SILVA, E. B. Energetic efficiency os a deep bed swine production sistem. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 32, n. 6, p. 1068-1079, 2012.

SANTOS, L. S.; NAHUM, J.S.; SANTOS, C. B.; SILVA JÚNIOR, O. M. Paisagem rural da microrregião de Tomé-Açu sob a ótica bertrandiana. **Revista Brasileira de Geografia Física**, Pernambuco, v.12, n.7, p.2694-2715, 2019.

SILVA, H. A.; GAMA, J. R. V.; MONTEIRO, R. N. Dinâmica socioeconômica de duas comunidades rurais no Assentamento Moju I e II, Amazônia Paraense. **Retratos de Assentamentos**, Araraquara, v.22, n.2, p.99-113, 2019.