

ARTIGO

A importância de incentivos para diversificação das culturas energéticas no Brasil

The importance of incentives to diversify energy crops in Brazil

Allívia Rouse Carregosa Rabbani¹; Thyane Viana da Cruz²; Roberto Muhájir Rahnemay Rabbani³.

DOI: <https://10.52719/bjas.v5i2.6489>

Resumo

O aumento das médias globais de temperatura, os eventos climáticos extremos e a degradação ambiental são desafios primordiais enfrentados pelo Brasil e pelo mundo. Para promover a independência energética regional e mitigar os impactos regionais e globais das mudanças climáticas, os governos estão buscando alternativas que atenuem esses efeitos no planeta. Dentre uma das alternativas, destacam-se os biocombustíveis, associados à produção de carbono neutro, obtidos a partir de matérias-primas orgânicas, como as culturas energéticas. Há diversos debates sobre a forma de exploração dessas culturas e um dos pontos levados em consideração é a baixa diversidade de espécies utilizadas. Isto porque algumas delas podem não ser adequadas, devido ao seu ciclo de produção e rendimento. Inclusive, uma linha de pesquisadores defende a diversificação dessas culturas. Sendo assim, o objetivo deste artigo é analisar a importância de ampliar o uso de espécies de culturas energéticas, já que no Brasil, o número de espécies utilizadas em larga escala para a produção de bioenergia é reduzido (quais sejam, cana-de-açúcar, soja, milho e eucalipto), e é importante reconhecer que há desafios para a pluralização das espécies. Entre os problemas enfrentados estão o tempo entre o estímulo à pesquisa e o desenvolvimento de tecnologias eficientes para a produção e a transformação da biomassa; a implementação de políticas públicas adequadas; a superação de barreiras econômicas; e o apoio do setor agrícola e florestal. Nesse contexto, a adoção de políticas de incentivo, a promoção de investimentos em inovação e o engajamento da sociedade são passos fundamentais nesta jornada.

Palavras-chave: Biodiesel. Etanol. Produção. Espécies. Bioenergia.

¹ Instituto Federal da Bahia – IFBA. E-mail: alliviarouse@hotmail.com.

² Instituto Federal da Bahia – IFBA. E-mail: thyvc@yahoo.com.br.

³ Universidade Federal do Sul da Bahia – UFSB. E-mail: robertorabbani@gmail.com.

Abstract

The increase in global average temperatures, extreme weather events, and environmental degradation are primary challenges faced by Brazil and the world. To promote regional energy independence and mitigate the regional and global impacts of climate change, governments are seeking alternatives that attenuate these effects on the planet. Among the options, biofuels stand out as they are associated with carbon-neutral production, obtained from organic raw materials such as energy crops. There are several debates about the exploitation of these crops, and one of the points raised is the low diversity of species used, as some of them may not be suitable due to their production cycle and yield. A group of researchers advocates for the diversification of these crops. Therefore, the objective of this article is to consider the importance of expanding the use of energy crop species. In Brazil, the number of species used on a large scale for bioenergy production is limited (sugarcane, soybean, corn and eucalyptus), and it is important to recognize that there are challenges to this pluralization. Among the problems faced are the time between research incentives and the development of efficient technologies for biomass production and transformation; the implementation of appropriate public policies; overcoming economic barriers; and support from the agricultural sector. In this context, the adoption of incentive policies, the promotion of investments in innovation, and the engagement of society are fundamental steps on this journey.

Keywords: Biodiesel. Ethanol. Production. Species. Bioenergy.

Introdução

A busca por fontes de energia sustentáveis tem se intensificado nos últimos anos, impulsionada pelas preocupações com as mudanças climáticas e a dependência de combustíveis fósseis. Dentre estas energias estão os biocombustíveis, que são obtidos a partir de matérias-primas biológicas, que têm se destacado como uma alternativa promissora para mitigar os impactos ambientais, na substituição total ou parcial dos combustíveis fósseis, e reduzir a emissão de gases de efeito estufa (GEEs) (Næss et al., 2023 & Watanabe et al., 2023).

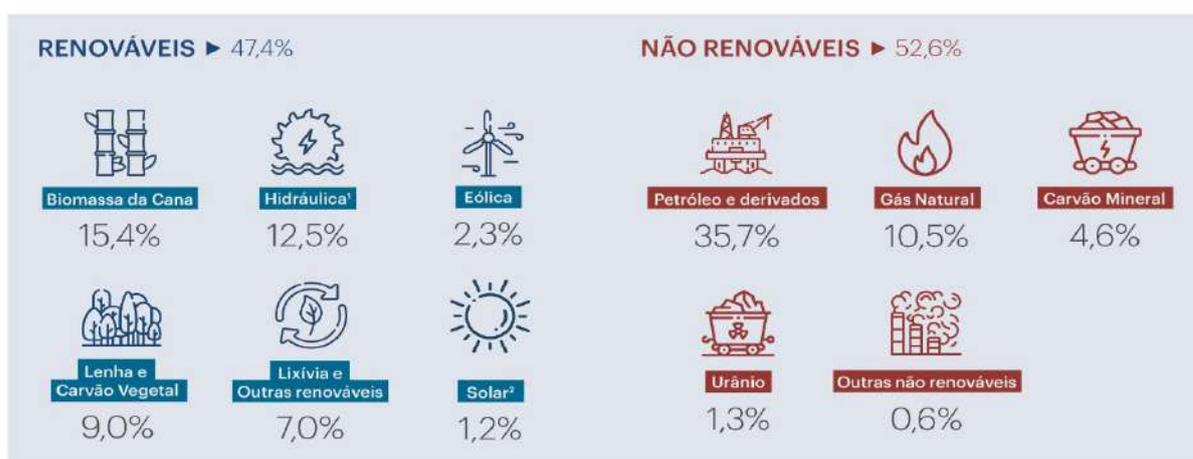
Na indústria, a biomassa é a matéria orgânica que armazena energia na forma de energia química, sendo submetida a diversos processamentos e tecnologias de transformação, resultando na produção de biocombustíveis (nas formas líquida, gasosa ou sólida). Quanto à origem, as biomassas para fins energéticos podem ser classificadas em três categorias: 1) a biomassa energética florestal, que inclui produtos e subprodutos ou resíduos da indústria florestal; 2) a biomassa energética da agropecuária, que engloba culturas agroenergéticas, bem como os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, das agroindustriais e da produção animal; e, por fim, 3) os rejeitos urbanos (Empresa de Pesquisa Energética, 2022).

A biomassa é relevante dentro da política energética brasileira, 31% da energia interna do país tem como fonte a matéria orgânica (Ministério de Minas e Energia, 2023). A maior contribuição é a da cana-de-açúcar (15,4%), seguido da lenha e carvão vegetal (9,0%), e por

último da lixívia e outras energias renováveis (7,0%), entre elas biodiesel, biogás etc. A lixívia, também conhecida como licor negro ou licor preto, é um resíduo líquido, denso, resultante do processo de produção da indústria de papel e celulose, e responsável por gerar 3% da energia do país.

Figura 1

A repartição da oferta interna de energia no Brasil.



Fonte: BEN (2023)

Como mencionado, existem diferentes matérias-primas e variadas rotas tecnológicas para produzir biocombustíveis, contudo a maior parte da matéria-prima é obtida por meio da produção de culturas energéticas. O termo "culturas energéticas" refere-se às plantas cultivadas com o propósito principal de produzir biomassa destinada à produção de bioenergia (Hakeem et al., 2023; Usmani, 2023, & Rabbani, 2023a).

O Brasil tem desempenhado um papel fundamental na produção e incentivo de culturas energéticas para transformação e uso de biocombustíveis, com destaque para o etanol e biodiesel (Suali & Suali, 2023). Esse setor contribui para a redução das emissões de GEEs e para a segurança energética (Jayakumar et al., 2023).

Apesar da biodiversidade planetária no setor agrícola, com dezenas de espécies com potencial para produção de biocombustíveis, há uma baixa diversidade de culturas energéticas utilizadas para a produção de combustíveis e isto deve ser um motivo de alerta. Dentre as principais culturas energéticas utilizadas em todo o mundo, destaca-se este grupo: cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.); milho (*Zea mays* L.); trigo (*Triticum* spp.); soja (*Glycine max* L.); beterraba-sacarina (*Beta vulgaris* L.); palma de óleo (*Elaeis guineensis* Jacq.); colza (*Brassica napus* L.); pinheiro-bravo (*Pinus pinaster* Ailton); eucalipto (*Eucalyptus* spp.); e

sorgo sacarino (*Sorghum bicolor* L.). Quando se observa o Brasil, das espécies que se destacam, o grupo é ainda menor, sendo representado pela soja, o milho, a cana-de-açúcar e o eucalipto (Rabbani, 2023a).

Para as próximas décadas, existe a expectativa de um aumento significativo na produção dos biocombustíveis (International Energy Agency, 2023). Apesar dos efeitos positivos desta bioenergia, principalmente no que tange à redução das emissões de GEEs e a diminuição do ritmo das mudanças climáticas globais, cabe frisar que desde na década passada, Gazzoni (2011) apontava que caso essa expansão ocorra baseado principalmente no cultivo de culturas energéticas, pode haver ou potencializar efeitos negativos, como a perda de habitats naturais, do aumento de espécies invasoras, conflitos adversos decorrentes ao uso da terra e expansão do uso de fertilizantes e agrotóxicos.

Assim, este artigo propõe fazer uma análise sobre o cenário atual brasileiro e os principais desafios associados ao baixo número de espécies de plantas utilizadas para a produção de biocombustíveis no Brasil, serão explorados os impactos e as estratégias para promover a independência energética regional.

Material e métodos

Esta revisão abordará o cenário atual das culturas energéticas, seus impactos negativos, os aspectos positivos da diversificação das culturas e as principais estratégias para conseguir esse objetivo. Para tanto, foram realizadas buscas nos bancos de dados como o *ScienceDirect* (<http://www.sciencedirect.com/>), *Web of Science* (<https://www.webofscience.com/>), Scielo (<https://www.scielo.br/>), e o *Google Scholar* (<https://scholar.google.com>), bem como a base de dados disponibilizados por governos e agências, como a BFTD - Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (<https://bdtd.ibict.br>) e o Portal de Periódicos da CAPES (<http://www-periodicos-capes-gov-br.ez51.periodicos.capes.gov.br/>). Após a leitura foram escolhidos 53 artigos em revistas científicas indexadas e 01 dissertação, que apresentavam informações mais relevantes e relacionadas com os assuntos abordados na revisão.

Também foram acessados outros portais fornecedores de dados e informações, como o portal do IBGE (<https://sidra.ibge.gov.br/home/pms/brasil>), da Embrapa – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (<http://www.ainfo.cnptia.embrapa.br/>), da EPE – Empresa de Pesquisa Energética (<https://www.epe.gov.br/pt>), o IEA – Agência Internacional de Energia (<https://www.iea.org/>), o IPCC – *The Intergovernmental Panel on Climate Change* (<https://www.ipcc.ch/>), e o Parlamento Europeu (<https://www.europarl.europa.eu/portal/pt>).

A busca nos diferentes portais utilizou palavras-chave como “biomassa”, “biocombustíveis”, “emissão de carbono”, “monocultura”, “agricultores”, “culturas energéticas” e “espécies”, com o propósito de melhor definir os pontos da pesquisa.

O cenário atual das culturas energéticas

O dióxido de carbono (CO₂) atmosférico aumentou para 420 ppm em relação aos níveis pré-industriais de 280 ppm, provocando impactos das mudanças climáticas na biodiversidade e na sociedade. Considerando que a redução do consumo, o aumento da eficiência energética e a transição para energia renovável e sistemas agrícolas mais sustentáveis são essenciais para atingir as metas climáticas, aumentar a remoção do excesso de CO₂ atmosférico é crucial para limitar o aquecimento a 1,5 °C (Smale et al., 2019; Intergovernmental Panel on Climate Change, 2022, & Ross et al., 2023).

As culturas energéticas são cultivadas com o intuito específico de produzir biomassa destinada à geração de energia, apresentam-se como uma alternativa promissora para reduzir a dependência dos combustíveis fósseis e mitigar as emissões de GEEs, uma vez que no ciclo de produção há o sequestro de carbono durante o crescimento das plantas, através da fotossíntese, e, ao serem utilizados como fonte energética, liberam uma quantidade equivalente de carbono para a atmosfera, fechando um ciclo de carbono neutro (Empresa de Pesquisa Energética, 2020 & Nalevaiko et al., 2021).

O Brasil foi o primeiro país do mundo a adotar biocombustíveis em sua matriz energética e são utilizadas diferentes matérias-primas para este fim (Vidal, 2021), prevalecendo sua exploração por meio de monoculturas. O país possui uma matriz de culturas agrícolas diversificada, com 35 principais culturas agrícolas, contudo as espécies consideradas para fins energéticos são cana, soja, milho, trigo, amendoim, girassol, coco, algodão, mamona e agave (Tabela 1).

Tabela 1

*Produção (toneladas) das principais lavouras entre os anos 2013 e 2023. Legenda: ZA - Zero absoluto, não resultante de um cálculo ou arredondamento; VND - Valor não disponível. * - Culturas com potencial energético.*

Culturas	Produção (Toneladas)											Jun / 2023 (%)
	jun/13	jun/14	jun/15	jun/16	jun/17	jun/18	jun/19	jun/20	jun/21	jun/22	jun/23	
Cana-de-açúcar*	739901 821	741219 461	678298 386	726684 707	703339 282	691436 412	665043 223	685399 663	655484 120	726129 805	666166 727	64,74
Soja*	813337 92	866010 18	964425 21	965696 46	114776 780	116309 308	112546 649	119899 492	133255 236	117959 081	148376 257	14,42
Milho*	782113	762462	803221	701097	976648	837138	953004	975126	950165	111191	124454	12,1

	21	90	98	94	76	95	99	83	40	596	808	
Mandioca	214491	232463	241543	225283	200267	207041	202041	189621	188573	180326	184525	1,79
	46	52	77	92	13	82	29	57	82	29	47	
Laranja	182501	164379	138096	156791	146718	171004	164763	183421	146083	164684	167613	1,63
	94	54	84	25	80	91	04	54	84	09	56	
Trigo*	555732	787421	729426	635536	606857	566854	607220	695806	787959	886322	106247	1,03
	9	8	1	2	0	6	6	4	4	9	20	
Arroz	117418	122586	123907	108073	121886	115581	104260	108092	112098	106788	100208	0,97
	55	37	37	81	72	09	42	91	91	86	43	
Banana	727711	717959	722819	685616	702779	682621	691121	678942	692912	711355	703329	0,68
	0	5	7	9	3	2	8	0	9	1	7	
Algodão herbáceo	338372	430651	397290	370517	363945	472033	648259	692427	568159	672871	693075	0,67
	8	5	5	1	4	2	4	1	8	7	1	
Batata - inglesa	330680	372043	350282	360782	406911	381034	388724	342420	386925	389368	395965	0,38
	6	6	6	8	7	6	3	1	5	6	4	
Sorgo	248609	189485	208752	125915	207785	239582	250338	276509	263594	292496	381873	0,37
	9	9	6	6	4	1	3	2	5	7	4	
Café	284793	273650	260269	292543	279037	343777	315400	354080	294339	317039	330583	0,32
	1	0	6	7	9	3	8	1	0	3	2	
Tomate	367144	408745	368164	349495	433348	452636	386678	384008	377315	360952	378922	0,37
	2	0	1	2	0	9	3	5	5	6	2	
Feijão	295731	355423	326850	291377	328613	338855	302579	295119	278598	308690	308990	0,3
	1	2	3	7	9	8	5	1	1	0	5	
Uva	145871	137849	151078	958676	146765	138657	141954	143538	168802	150124	166477	0,16
	6	8	8	1	9	5	7	4	5	5	7	
Aveia	442161	511205	545221	639683	901391	753729	939369	102477	102563	114448	119556	0,12
	3	8	4	2	3	8	4	2	8	4	2	
Amendoim*	365851	293945	320299	420337	541217	553400	587908	691799	639439	826478	811986	0,08
Fumo	853653	857437	873945	685726	870378	820471	758338	703663	720132	665284	682603	0,07
Cevada	302480	326459	316100	267190	419327	427397	407244	423109	448541	483242	511255	0,05
Cacau	243734	273031	260865	263539	235550	232747	251278	282230	269084	288757	290375	0,03
Castanha-de-caju	270294	255104	231066	215973	105483	132604	120555	150404	123316	120810	122051	0,01
Triticale	136811	118130	99011	49259	49063	45949	36789	40735	44280	55990	70480	0,01
Girassol*	109324	176861	189115	82956	86647	144462	124756	83168	68851	60951	61275	0,01
Mamona*	17045	35492	86671	85038	10966	24629	27069	22051	35055	38940	33353	0,00
Centeio	4065	5087	5009	6072	7098	7755	10268	11181	8578	11407	8942	0,00
Coco-da-baía	197087	196689	185305	183698	178521	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	1	0	2	1	1							
Cebola	131135	162752	163726	156240	169066	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	8	4	4	2	6							
Abacaxi	149226	158328	174569	177483	156216	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	4	0	8	4	6							
Maçã	122655	137231	126591	104129	126094	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
	5	0	5	3	4							
Alho	78606	101226	92737	98842	125412	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Sisal ou agave*	67321	125799	180932	133053	112820	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Pimenta-do-reino	42038	39156	48776	53348	77447	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Malva	14470	8670	14055	13799	4366	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Guaraná	3731	3567	3667	3649	3288	VND	VND	VND	VND	VND	VND	VND
Juta	850	302	798	790	ZA	ZA						
Total	99278808	100242	950337	983690	100727	976688	957429	989446	967057	104187	102893	100
	3	3490	442	337	8080	303	187	264	148	8570	1480	

Fonte: IBGE, 2023a. Organização dos dados: os autores.

De junho de 2022 a junho de 2023, 65% das lavouras estavam ocupadas com plantações de cana, seguido de soja (14%) e de milho (12%). Estas três culturas englobam 95% de toda produção nacional das lavouras (IBGE, 2023a; Tabela 1). A cana-de-açúcar e o milho são parcialmente empregados na fabricação de etanol, utilizado como combustível puro ou misturado à gasolina. Por meio da cana, também é possível a produção de energia térmica, através da queima do bagaço, que é um resíduo do processo da fabricação de etanol. A soja é a cultura mais cultivada e utilizada para a produção de biodiesel (75%) (Ferreira et al., 2018). Assim, fica evidente que há uma concentração de poucas espécies para a produção de bioenergia no país, o que levanta a preocupação no contexto da sustentabilidade e segurança energética.

Nos últimos anos o cultivo da cana-de-açúcar teve uma expansão significativa para atender tanto à produção de açúcar quanto à produção de etanol. Esse aumento na área cultivada de cana-de-açúcar pode ser atribuído principalmente aos incentivos fiscais e financeiros fornecidos pelo governo aos agricultores. No que se refere ao cultivo destinado à produção de biodiesel, houve um significativo crescimento em várias culturas, incluindo soja, amendoim e trigo. Entretanto, a soja foi a cultura que mais se destacou. Da mesma forma que ocorreu no cultivo da cana-de-açúcar, não é possível afirmar que o aumento total da área cultivada de soja seja inteiramente destinado à produção de biodiesel, uma vez que a soja também tem experimentado um crescimento extraordinário na demanda internacional para outros fins (Pauli et al., 2020).

Para os produtos florestais (Tabela 2), existe também uma diversificação, com mais de 38 produtos. Contudo, 54% deles estão concentrados na lenha, seguido da madeira em tora (42%), erva-mate (1,4%), carvão vegetal (1,2%) e açaí (0,6%). Nesse sentido, mais de 55% dos produtos florestais gerados são para uso energético, tendo o eucalipto como principal espécie (IBGE, 2023b).

Tabela 2

*Quantidade produzida (toneladas), dos principais produtos extrativos, na extração vegetal e da silvicultura, entre os anos 2011 e 2021. Legendas: ZA - Zero absoluto, não resultante de um cálculo ou arredondamento; VND - Valor não disponível. * - Produtos com potencial energético.*

Produtos	Produção (Toneladas)											
	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2021 (%)
Lenha (m ³)*	375742 07	343136 37	309552 24	289073 13	269601 53	251633 12	214764 63	200873 31	192149 45	193220 22	190752 74	53,94
Madeira em tora (m ³)	141167 11	149255 01	135192 81	127187 95	123087 02	114974 03	122193 46	116167 09	120957 12	113794 22	148081 06	41,87
Erva-mate	229681	252700	300128	333017	341251	352968	383922	346941	371659	426034	506134	1,43
Carvão vegetal*	135119 2	115969 5	100625 4	102106 2	797263	544279	431960	338752	372355	373513	441663	1,25
Açaí (fruto)*	215381	199116	202216	198149	216071	215631	219710	221646	222706	220489	227251	0,64
Pinheiro brasileiro (tora) (m ³)	94727	100540	207225	141225	98949	65549	80618	35562	28632	90132	77575	0,22
Pequi (fruto)*	VND	VND	VND	19241	18866	17859	21915	22078	27868	63820	74172	0,21
Castanha-do-pará*	42152	38805	38300	37499	40643	34903	23357	34170	32905	33118	33406	0,09
Babaçu (amêndoa)*	102499	97820	89739	83917	77955	61598	54330	50804	48706	37946	32076	0,09
Carnaúba (pó)*	18636	17844	18251	19137	19974	17957	19409	17943	19465	19453	19840	0,06
Umbu (fruto)	9323	7980	7561	7466	7451	8470	7542	8203	8544	9467	12771	0,04
Pinhão	8032	9638	8293	8777	8393	7746	9293	9561	9374	10605	12485	0,04
Pinheiro brasileiro (nó de pinho) (m ³)	10217	9929	14715	13108	5139	9166	10467	8527	12645	10681	11905	0,03
Outras	3615	5434	12299	3491	3599	3929	4966	7796	9684	9418	11468	0,03
Piaçava	61409	57762	44617	45758	44805	45662	9783	8481	7679	7912	7498	0,02
Palmito	5563	4787	4620	4729	4669	4277	4350	4336	4296	4274	4140	0,01
Mangaba (fruto)	680	677	639	685	663	1068	1124	1751	1749	1976	2173	0,01
Castanha-de-caju	3179	3054	2931	2489	2160	1499	1421	1421	1779	1939	1769	0,01
Carnaúba*	1640	1667	2317	1878	1298	1125	1431	1389	1441	1398	1427	0
Licuri (coquilha)*	4213	3925	3760	3744	4072	3839	1151	1078	1050	1067	1037	0
Hevea (látex coagulado)	2856	2143	1760	1446	1447	1202	1044	866	842	925	962	0

Pequi (amêndoa)	7047	939	1544	1381	2228	1471	832	765	741	698	817	0
Carnaúba (cera)	2638	2486	2112	1948	2060	1709	1171	1124	905	805	642	0
Buriti	465	469	466	466	451	441	491	497	476	482	473	0
Tucum (amêndoa)*	516	482	513	484	489	462	478	401	374	360	374	0
Jaborandi (folha)	299	294	291	252	238	229	192	295	296	296	291	0
Copaíba (óleo)*	214	127	153	164	153	165	171	165	159	163	170	0
Cumaru (amêndoa)*	103	93	91	103	97	145	151	170	127	117	116	0
Angico (casca)	170	161	140	131	112	95	39	58	75	72	58	0
Pinheiro brasileiro (Mil árvores)	48	55	133	100	60	37	47	28	22	56	43	0
Urucum (semente)	10	2	0	0	0	20	23	22	27	24	23	0
Ipecacuanha ou poaia (raiz)	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Sorva	1	1	ZA	1	1	1	1	1	1	1	1	0
Barbatimão (casca)	7	7	6	5	5	17	0	0	8	0	1	0
Hevea (látex líquido)	149	194	198	93	52	4	10	0	0	0	ZA	ZA
Balata	ZA	ZA	ZA	ZA	2	2	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA	ZA
Oiticica (semente)*	64	401	15	16	12	7	6	6	5	4	ZA	ZA
Total	538676	512183	464457	435780	409694	380642	349872	328288	324972	320286	353661	100
	46	68	95	71	84	48	15	78	53	90	42	

Fonte: IBGE, 2023c. Organização dos dados: os autores.

As grandes monoculturas e seus impactos

A dominância das monoculturas é uma realidade preocupante nos sistemas agrícolas em todo o mundo, especialmente no contexto da produção de culturas energéticas para a geração de biocombustíveis. Monocultura refere-se ao cultivo extensivo de uma única espécie de planta em grandes áreas, com pouco ou nenhum cultivo de outras espécies no mesmo terreno. Essa prática tem sido amplamente adotada para maximizar a produtividade e eficiência agrícola, mas traz consigo uma série de impactos negativos sobre o meio ambiente, a biodiversidade e a segurança alimentar (Gazzoni, 2011).

Grandes extensões de terras explorando monoculturas necessitam de grande uso do capital natural, como o uso intensivo de agrotóxicos e quantidades significativas de água. Em se tratando das formas do uso do solo, sempre há riscos de desmatamento e liberação de carbono do solo, contribuindo para as emissões líquidas de GEEs. Outro ponto relevante é o esgotamento de nutrientes específicos, exigindo o uso intensivo de fertilizantes químicos que, por sua vez, podem contaminar as águas subterrâneas e os corpos d'água, causando danos ambientais adicionais. Pode ainda promover a compactação, reduzir sua capacidade de retenção de água e aumentar a erosão. Esses impactos negativos podem ter consequências a longo prazo para a produtividade agrícola e para a sustentabilidade dos sistemas agrícolas e ambientais (Miller & Spoolman, 2021).

Em comparação com outras fontes renováveis, como energia solar, eólica e hidráulica, a bioenergia se destaca pelo seu potencial de sequestro de carbono. Durante o processo de crescimento, as plantas realizam a fotossíntese, absorvendo carbono da atmosfera. Após a

colheita, o carbono das raízes permanece no solo. Isso confere aos biocombustíveis uma característica única, tornando-os não apenas tecnologias de geração carbono-neutro, mas sim carbono-negativos (Dias, 2021). Contudo, apesar dos biocombustíveis emitirem uma baixa emissão de GEEs em comparação aos combustíveis fósseis, quando observa-se apenas o processo de cultivo, este ainda emite CO₂ e outros gases durante o plantio, colheita e processamento.

Dentro da questão ambiental, a pressão da expansão de monoculturas pode resultar na perda de habitats e na redução das populações de espécies nativas, afetando negativamente a biodiversidade regional. Outro aspecto relacionado às culturas homogêneas é a perda da variedade biológica, pois ao eliminar a abundância de espécies em um determinado ecossistema, reduz-se drasticamente a diversidade genética, tornando as culturas mais suscetíveis às pragas, doenças e condições climáticas extremas. Isso aumenta a vulnerabilidade da produção agrícola e coloca em risco a segurança alimentar, uma vez que uma única doença ou praga pode dizimar grandes extensões de plantações (Zimmermann, 2009; Gazzoni, 2011, & Parlamento Europeu, 2020).

À medida que mais terras são convertidas em monoculturas, pode haver uma redução na evapotranspiração, prevista em condições sem intervenção no uso do solo, que é o processo pelo qual as plantas liberam água para a atmosfera através da transpiração. Essa redução da evapotranspiração pode levar a temperaturas mais altas na região, criando um microclima localizado de aquecimento, conhecido como “Ilha de Calor”, como visto na Índia (Kumar et al., 2017). Além deste efeito, o setor se torna mais vulnerável a eventos climáticos extremos, como inundações, secas prolongadas ou chuvas intensas, comprometendo a produção agrícola e que podem se tornar mais frequentes e intensos devido às mudanças climáticas. Esses acontecimentos podem afetar a disponibilidade e o preço das matérias-primas para a produção de biocombustíveis, e indo mais além, pode levar a um aumento nos preços dos alimentos, afetando diretamente a população mais vulnerável (Miller & Spoolman, 2021).

Dentro desta temática também há a questão social, a dependência excessiva de monoculturas pode levar à perda da diversidade cultural e do conhecimento tradicional associado ao cultivo de diferentes espécies agrícolas, e com o tempo, o conhecimento sobre práticas agrícolas diversificadas pode ser perdido, o que prejudica a resiliência das comunidades rurais diante de desafios futuros, além destes temas, é possível observar o deslocamento de populações das áreas rurais das regiões em expansão da fronteira agrícola para as grandes cidades, em decorrência da introdução de monoculturas, que é impulsionado pelo domínio do capital (Kumar, 2015 & Wang et al., 2023).

À medida que as políticas públicas favorecem o agronegócio, é observado um estímulo à expulsão da população rural, resultando no aumento da concentração de terras. A migração desequilibrada do campo para a cidade leva a uma apropriação excludente, pelo capital, da mão de obra livre, que tem apenas sua força de trabalho para vender. A própria expansão do capitalismo ocorre através da apropriação da força de trabalho, que é a única capaz de criar valor e riquezas (Santos & Cruz, 2017). Com a presença predominante de grandes empresas no campo, áreas antes ocupadas por culturas familiares diversificadas são substituídas, resultando na redução do emprego no campo e na capacidade de produção de alimentos tradicionais, o que compromete a segurança alimentar das comunidades (Domingues & Bermann, 2012).

Em outras palavras, a gestão territorial desempenha um papel fundamental na utilização e redistribuição adequada dos recursos naturais, bem como na otimização do espaço rural e de equilíbrio de riquezas. Essa abordagem de gestão é de extrema importância na implementação de projetos de plantios (Zimmermann, 2009).

Outro aspecto a ser considerado, é que o monopólio das monoculturas da soja (biodiesel) e da cana (etanol) na produção de biocombustíveis no Brasil, o que torna o setor vulnerável no que se refere à segurança energética. Considerando os efeitos das mudanças climáticas, surgimentos de pragas e doenças cada vez mais resistentes, a diversificação da matriz produtiva das culturas energéticas configura-se em uma estratégia fundamental para reduzir riscos e garantir segurança ao setor.

Os aspectos positivos da diversificação

Atualmente, o setor agropecuário brasileiro enfrenta um desafio significativo, que envolve o desenvolvimento e implementação de tecnologias capazes de atender à crescente demanda por alimentos, fibras, energia, produtos madeireiros e não madeireiros de maneira sustentável. Esse cenário busca assegurar retornos econômicos, ao mesmo tempo em que se observam cuidadosamente os aspectos ambientais e sociais (Silva, 2020).

O aumento dos tipos de culturas energéticas é crucial para garantir a resiliência dos sistemas energéticos em face das mudanças climáticas e contribuir para a segurança alimentar, como explicado anteriormente. É importante destacar que, para destinação ao mercado de combustíveis, é preciso considerar também a disponibilidade de matéria-prima para atendimento em escala industrial. Ainda que algumas espécies tenham prioridade de aplicação em áreas tecnológicas distintas, a diversificação somente se concretizará se o mercado tiver suprimento satisfatório da matéria-prima (Santos et al., 2022).

Novas espécies, principalmente nativas, ampliam a cadeia de produção e contribuem para a manutenção da qualidade da água e do solo, o sequestro de carbono e até mesmo a preservação de espécies, tornando-se elegíveis para remuneração por meio de serviços ambientais (Ferreira et al., 2018). Assim, espera-se que as políticas públicas ofereçam aos agricultores a percepção de que áreas biodiversas podem melhorar também os serviços ecossistêmicos das regiões amparadas.

As emissões de GEEs associadas à produção de biocombustíveis podem ter um impacto significativo nas mudanças climáticas. Embora os biocombustíveis sejam considerados uma alternativa mais sustentável aos combustíveis fósseis, é indispensável considerar todas as etapas do ciclo de vida desta bioenergia para avaliar seu verdadeiro potencial de redução de emissões. Logo, é importante averiguar todo o ciclo da cultura antes de adotá-la dentro de uma política energética (Melnikova et al., 2022).

Nesse contexto, é fundamental o desenvolvimento de tecnologias que permitam a produção eficiente e sustentável, buscando maximizar a produção sem comprometer a saúde dos ecossistemas e o bem-estar das comunidades rurais. A adoção de práticas agrícolas e pecuárias mais sustentáveis, o uso responsável de insumos, a promoção da agroecologia, a implementação de sistemas de manejo integrado de recursos naturais e o uso eficiente de recursos hídricos são algumas das estratégias que podem contribuir para alcançar esse objetivo.

A ampliação do número de espécies, principalmente por meio de cultivo mais amigáveis para ao ambiente, pode promover a preservação do solo, que é de extrema importância devido ao papel vital que desempenha no funcionamento dos sistemas terrestres, incluindo o ciclo da água, a regulação climática, os ciclos de nutrientes e a biodiversidade. Todos esses aspectos se traduzem em benefícios significativos para a segurança alimentar, nutrição, saúde e segurança energética relacionada à bioenergia. Nesse contexto, o solo desempenha funções estruturais cruciais como componente essencial do meio ambiente, indo além de ser apenas um substrato para a produção agrícola/florestal. O solo é um biosistema complexo e dinâmico, onde suas funções não são lineares, o que o torna vulnerável a impactos decorrentes de contaminação ou degradação de suas propriedades (Dias, 2021).

As diferentes rotas de produção e transformação da biomassa variam de acordo com a matéria-prima utilizada, beneficiando as economias regionais ou locais de maneira diversificada. Essas variações promovem o desenvolvimento econômico, pois demandam, por exemplo, fornecimento de equipamentos, otimização das operações agroindustriais, assistência técnica e desenvolvimento de outros produtos.

Essa realidade favorece a instalação de biorrefinarias capazes de produzir multiprodutos, como biocombustíveis, produtos químicos a granel e fornecimento de energia e calor excedentes, contribuindo para o crescimento da oferta de produtos e fortalecendo a indústria de bioenergia como um todo.

Estratégias para ampliar a diversidade de culturas energéticas

Para promover a diversificação de matérias-primas para a produção de biocombustíveis, é necessário adotar estratégias específicas para promover a sustentabilidade e incentivar a independência energética regional, bem como para mitigar os impactos ambientais relacionados à geração de energia para consumo da sociedade. Contudo são necessários alguns caminhos que serão ressaltados ao longo desta seção, destacados Figura 2 e relatados em seguida.

Figura 2

Pontos estratégicos para promoção da diversidade das culturas energéticas e da sustentabilidade da bioenergia.



Fonte: os autores

Investir em **pesquisa e desenvolvimento (P&D)** é fundamental para identificar novas espécies de plantas com potencial para a produção de biomassa energética. Programas de pesquisa podem buscar espécies nativas e exóticas adaptadas a diferentes condições climáticas e tipos de solo, visando diversificar as opções disponíveis para o cultivo (Rosegrant et al., 2022).

À medida que a produção de biocombustíveis se expande, como promete o futuro (International Energy Agency, 2023), a disponibilidade de biomassa aumenta e, em consequência, o interesse da comunidade científica deve acompanhar essa demanda da indústria em investir no aprimoramento das tecnologias relacionadas à produção em campo e beneficiamento dessas matérias-primas. Esse interesse promove um aumento no nível de maturidade tecnológica do processo de produção dos biocombustíveis, tornando-o mais eficiente e sustentável ao longo do tempo.

Para que um país consiga tecnologias que promovam a redução do consumo de recursos naturais, a mitigação dos impactos ambientais, a melhoria da eficiência produtiva e a diversificação das atividades agrícolas para um desenvolvimento sustentável do setor, é essencial investimentos em pesquisa e inovação tecnológica para desenvolver soluções adaptadas às diferentes realidades e demandas do setor. Com investimentos voltados para a inovação agrícola/florestal, permite-se o desenvolvimento tecnológico e a viabilidade comercial de novas culturas energéticas que podem se consolidar como uma alternativa atraente para suprir demandas, observando quesitos como o de menor impacto ambiental, impulsionando a independência energética de regiões.

Outro ponto importante é a realização de **zoneamento agrícola**, específico para as diferentes culturas energéticas, baseado em informações edafoclimáticas. O zoneamento favorece a adoção de políticas públicas direcionadas às realidades locais, ao adotar culturas adaptadas às condições edafoclimáticas específicas de cada região (Cordes, 2002), favorecendo a independência energética regional. Por meio do zoneamento, é possível encontrar soluções regionais, contribuindo para otimizar o uso de recursos naturais, evitar a expansão desordenada de cultivos e minimizar conflitos com áreas destinadas à produção de alimentos (Wollmann & Galvani, 2013).

Para tanto, especificamente no contexto das culturas energéticas, é crucial que o zoneamento esteja associado ao P&D, para que seja possível desenvolver redes de conhecimento, estabelecer linhas de pesquisa e criar sistemas de introdução e teste de culturas para estabelecer um zoneamento agrícola eficiente.

A bioenergia é obtida através de duas principais fontes: culturas energéticas cultivadas especificamente para essa finalidade e biomassa residual proveniente de atividades agrícolas/florestais, industriais ou residenciais. No setor agrícola/florestal, existem culturas conhecidas como "**culturas flex**", que têm a capacidade de produzir simultaneamente diferentes produtos. Esse enfoque permite uma maior flexibilidade de adaptação em resposta às variações do mercado, como é o caso da indústria sucroenergética (Msangi, 2016; Dias, 2021, & Rabbani, 2023a). Em outras palavras, uma única espécie permite produzir alimentos, biocombustíveis e outros produtos, inclusive, químicos. Isso promove a maximização da utilização dos recursos agrícolas, aumentando a eficiência produtiva.

A promoção de incentivos à **agroecologia e práticas sustentáveis** é mais um ponto a ser colocado na balança em prol da diversificação das culturas energéticas. Dentre estas práticas, há a rotação de culturas, o consórcio de espécies, o manejo integrado de pragas e doenças, incentivo ao plantio de duas espécies em um mesmo terreno (plantios duplos), a utilização de policulturas (diferentes tipos de plantas ou animais na mesma área) ou sistemas integrados que combinam a produção agrícola com a criação de animais ou o cultivo de florestas plantadas. Além disso, práticas sustentáveis, como a redução do uso de agrotóxicos e fertilizantes químicos, contribuem para a conservação dos recursos naturais e a proteção da biodiversidade (Sachet et al., 2021 & Schwarz et al., 2022).

A adoção de práticas agroecológicas pode contribuir para tornar os sistemas agrícolas mais resilientes e sustentáveis. Para reduções efetivas das emissões de GEEs, a produção das culturas energéticas deve estar associada a processos tecnológicos da agricultura de baixo carbono para maior eficiência energética dos biocombustíveis (Cruz et al., 2014). Além disso, também é essencial das políticas públicas que incentivem a diversificação das culturas e que promovam práticas agrícolas sustentáveis são essenciais para enfrentar os desafios associados à dominância das monoculturas e construir um futuro mais equilibrado e saudável para o meio ambiente e a sociedade (Gallardo-López et al., 2018).

O **resgate e o cultivo de espécies nativas**, ou mesmo outras culturas, com potencial energético (Tabela 2), muitas vezes esquecidas ou subutilizadas, podem ampliar a diversidade de culturas energéticas. Essa abordagem também pode contribuir para a conservação da flora regional e para o conhecimento tradicional associado a essas espécies, como a *Jatropha mollissima* que é nativa do Brasil, apresentando forte resistência à seca (Pompelli et al., 2011). Essas espécies podem ser estudadas e ajustadas para as condições ideais de uso para a produção de biocombustíveis líquidos, sólidos e gasosos.

Tabela 2

Exemplos de espécies promissoras para uso como culturas energéticas

Espécie(s)	Tipo(s) de combustível	Estudos(s) relacionado(s)
Açaí (<i>Euterpe oleracea</i> Mart.)	Sólido	Passinho et al., 2019
Andiroba (<i>Carapa guianensis</i> Aubl.)	Líquido	Stachiw et al. (2016)
Babaçu (<i>Attalea speciosa</i> Mart. ex Spreng.)	Líquido	Stachiw et al. (2016); Anjos et al. (2021)
Babaçu (<i>Orbignya phalerata</i> Mart.)	Líquido e sólido	Reis et al. (2015); Lima et al. (2007)
Capim elefante (<i>Pennisetum purpureum</i> Schum.)	Sólido	Fernandes et al. (2020); Tavares e Santos (2013)
Carnaúba [<i>Copernicia prunifera</i> (Mill.) H.E. Moore.]	Líquido e sólido	Tavares e Santos (2013)
Cártamo (<i>Carthamus tinctorius</i> L.)	Líquido	Lima et al. (2019)
Castanha do Brasil (<i>Bertholletia excelsa</i> Bonpl.)	Líquido	Stachiw et al. (2016)
Crambe (<i>Crambe abyssinica</i> Hochst)	Líquido	Queiroz et al. (2021)
Cupuçu (<i>Theobroma Grandiflorum</i> (Willd. Ex Spreng. Schum.)	Líquido e sólido	Santos et al. (2015); Marasca et al. (2022)
Curupiteiro (<i>Sapium</i> sp)	Sólido	Nagaishi et al. (2020)
Dendezeiro (<i>Elaeis guineenses</i> Jacq.)	Líquido	Ferreira et al. (2018); Messis et al. (2020); Peixoto et al. (2022)
Envirão (<i>Guatteria</i> sp.)	Sólido	Fortaleza et al. (2019)
Guapuruvu [<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) Blake]	Sólido	Narita et al. (2018)
Louro [<i>Nectandra cusoidata</i> (Mart. Ex Nees)]	Sólido	Nagaishi et al. (2020)
Macaúba (<i>Acromia aculeata</i> Jacq.)	Líquido	WWF (2022); Guerra et al. (2023)
Muirapixuna (<i>Cassia scleroxylon</i> Ducke)	Sólido	Nagaishi et al. (2020)
Paricá (<i>Schizolobium amazonicum</i> Herb)	Sólido	Ferreira et al. (2021); Vidaurre et al. (2022)
Pequi (<i>Caryocar brasiliense</i> Camb.)	Líquido	Souza et al. (2020)
Pinhão-rasteiro [<i>Jatropha ribifolia</i> (Pohl) Baill.]	Líquido e sólido	Paiva et al. (2021)
Pinhão-bravo [<i>Jatropha mollissima</i> (Pohl) Baill.]	Líquido e sólido	Paiva et al. (2021)
Pinhão-manso (<i>Jatropha curcas</i> L.)	Líquido	Ferreira et al. (2018)
Sumaúma (<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.)	Sólido	Fortaleza et al. (2019)
Tucumã (<i>Astrocaryum tucuma</i> Mart.)	Líquido	Stachiw et al. (2016)

Fonte: os autores.

Esse incentivo ao uso de novas espécies, como ressaltado anteriormente, pode ser associado à integração **com a agricultura familiar** para promoção do desenvolvimento sustentável em áreas rurais. O cultivo de espécies energéticas em sistemas agroflorestais e em propriedades de agricultura familiar pode aumentar a resiliência dos sistemas produtivos e gerar benefícios socioeconômicos para as comunidades locais.

Incentivos como o Selo Biocombustível Social (SBS), que incentiva aos produtores de biodiesel adquirem matérias-primas de agricultores familiares que recebem o Selo, são beneficiados com reduções nas alíquotas de impostos (MAP, 2022 & Brasil, 2022). A valorização da agricultura familiar e o incentivo à produção agroecológica têm um papel relevante na construção de um setor agropecuário mais sustentável, capaz de conciliar a produção de alimentos, produtos florestais, e demais produtos com a preservação dos recursos naturais e a promoção do desenvolvimento social nas áreas rurais.

A concessão de subsídios econômicos aos produtores pode representar um estímulo importante para incentivar a colheita da matéria-prima e, inclusive, fomentar a formação de cooperativas e associações, facilitando o escoamento da produção. Essa medida contribui para tornar o biodiesel viável comercialmente e competitivo em relação a outras fontes. Dessa forma, a domesticação da espécie e o estabelecimento de cultivos comerciais impulsionam o desenvolvimento da cadeia produtiva dos diferentes tipos dos biocombustíveis.

No entanto, é importante ressaltar a necessidade de uma abordagem equilibrada na concessão de subsídios, para evitar distorções no mercado e garantir a eficiência econômica. Além disso, é fundamental acompanhar de perto os impactos ambientais e sociais decorrentes da expansão dos cultivos destinados à produção de biodiesel, a fim de assegurar a sustentabilidade dessa atividade no longo prazo.

Em resumo, o estímulo econômico aos produtores, aliado à domesticação da espécie e ao desenvolvimento tecnológico, pode contribuir para consolidar o biodiesel como uma alternativa energética competitiva e sustentável. A busca contínua por inovações e a atenção aos aspectos ambientais e sociais são cruciais para garantir a efetiva contribuição do biodiesel para a redução das emissões de GEEs e para a promoção de uma matriz energética mais diversificada e resiliente.

Não se pode deixar de citar o potencial das microalgas para a produção de biocombustíveis, conforme diversos estudos que fazem a prospecção de espécies, bem como a sua utilização (Mendes et al., 2012; Pereira et al., 2020, & Rodrigues, 2022). Sendo assim, como o Brasil por ter uma ampla zona costeira, tem alto potencial de exploração desse tipo de cultura aquática.

Além de cultivar espécies específicas para a produção de biocombustíveis, é importante **aproveitar a biomassa residual** proveniente de atividades agrícolas/florestais, industriais e residenciais. Resíduos orgânicos, restos de colheitas e resíduos de processos industriais podem ser utilizados para a produção de energia, reduzindo a dependência de culturas energéticas específicas. Inclusive, o uso de tecnologias limpas de combustíveis sólidos oferece uma oportunidade para substituir o carvão e, entre essas alternativas, destacam-se os pellets, briquetes, lascas de madeira, madeira e biocarvão (Bonassa et al., 2016 & Nalevaiko et al., 2021).

Assim, os biocombustíveis produzidos a partir de culturas não devem ser considerados como uma resposta completa às mudanças climáticas ou crises energéticas. É fundamental incorporar à cadeia de produção os produtos residuais das indústrias, os subprodutos dos cultivos e os resíduos orgânicos dos animais, a fim de tornar a produção e transformação dos

biocombustíveis mais rentável, associada a um ciclo de carbono neutro. Os resíduos agrícolas/florestais podem ser empregados na cogeração de energia elétrica e térmica, utilizados em co-combustão com outros materiais ou simplesmente queimados diretamente para a geração de calor, atendendo a diversas necessidades humanas e reduzindo significativamente os impactos ambientais (Sawin et al., 2012).

Espera-se que nos próximos anos haja um aumento significativo na utilização de biocombustíveis sólidos residuais, substituindo a lenha nos setores agropecuário e industrial. Isso se deve ao aumento do custo da lenha e à redução dos custos dos biocombustíveis sólidos. O potencial de produção desses biocombustíveis pode se tornar ainda mais relevante para a matriz energética brasileira, favorecendo a descentralizada de energia (Nalevaiko et al., 2021).

A **utilização de terras degradadas, abandonadas ou marginais** para o cultivo de novas culturas energéticas pode reduzir a competição com a produção de alimentos e contribuir para a recuperação dessas áreas. O aproveitamento de áreas degradadas para a produção de biocombustíveis pode ter um impacto positivo na restauração de ecossistemas e na mitigação das mudanças climáticas. A escolha do manejo e espécies corretamente podem transformar essas terras e retirá-las dessas situações (Csikós & Tóth, 2023).

A adoção de práticas agrícolas/florestais mais sustentáveis, o uso responsável de recursos naturais e a busca por alternativas que minimizem o impacto sobre a biodiversidade são fundamentais para garantir que os biocombustíveis contribuam efetivamente para a redução das emissões de GEEs e para a construção de um futuro mais sustentável e resiliente. Por meio da adoção de técnicas de produção aprimoradas e o acesso a matérias-primas mais econômicas, esses biocombustíveis podem desempenhar um papel vital na sustentação das economias e ajudar a desacelerar o aquecimento global.

As **Políticas públicas** que incentivem a diversificação das culturas energéticas são essenciais para estimular a adoção de práticas sustentáveis e a produção de biocombustíveis a partir de diferentes matérias-primas. Isenções fiscais, créditos de carbono, linhas de crédito e subsídios para pesquisa são exemplos de medidas que podem impulsionar essa diversificação. Contudo, é necessário um monitoramento cuidadoso dos impactos ambientais e sociais resultantes desse crescimento, a fim de garantir que a expansão das áreas cultivadas não resulte em problemas como o desmatamento, a perda da biodiversidade e a competição direta com a produção de alimentos ou produtos florestais. Um equilíbrio adequado entre a produção de biocombustíveis e a preservação dos recursos naturais e da segurança alimentar deve ser buscado para que essas culturas energéticas possam contribuir efetivamente para a

sustentabilidade e independência energética regional, sem comprometer a disponibilidade de alimentos e a saúde do meio ambiente (Anjos et al., 2021).

Desde 1930, o Brasil possibilita políticas favoráveis aos biocombustíveis. Inclusive pode-se destacar o Renovabio, política nacional de biocombustíveis instituída pela Lei nº 13.576/2017, que tem como principais objetivos: 1) o fornecimento uma importante contribuição para o cumprimento dos compromissos determinados pelo Brasil no âmbito dos Acordos Climáticos de Paris de 2015; 2) o agenciamento a adequada expansão dos biocombustíveis na matriz energética, com ênfase na regularidade do fornecimento de combustíveis; e 3) a garantia da previsibilidade para o mercado de combustíveis, induzindo ganhos de eficiência energética e de redução de emissões de gases causadores do efeito estufa na produção, venda e uso de biocombustíveis (Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2023).

Apesar da defesa histórica do Brasil para com os biocombustíveis, dado o potencial do país para se tornar um dos principais produtores de bioenergia do mundo, é fundamental que estejamos adequadamente preparados para enfrentar essa discussão, embasados por uma ampla documentação científica sobre o tema. O conhecimento científico robusto desempenha um papel essencial na formulação de políticas e estratégias que visem minimizar os impactos sobre a biodiversidade, garantindo uma abordagem sustentável para o desenvolvimento da produção de biocombustíveis no país (Gazzoni, 2011).

A troca de conhecimento e a **cooperação entre agricultores, regiões e até mesmo entre países** podem ajudar a diversidade de espécies, ao permitir o acesso a informações e tecnologias desenvolvidas em diferentes contextos. A cooperação e a troca de conhecimento são fundamentais para enfrentar os desafios comuns relacionados à segurança alimentar, conservação dos recursos naturais e adaptação às mudanças climáticas. As parcerias podem impulsionar o desenvolvimento e a disseminação de tecnologias sustentáveis, além de viabilizar o acesso a mercados para produtos produzidos de forma responsável e sustentável (Regan et al., 2017 & Rabbani et al., 2023b).

Portanto, o desafio atual do setor agrário/florestal é encontrar soluções inovadoras e sustentáveis que garantam a produção de alimentos, fibras, energia e outros produtos, ao mesmo tempo em que se preservam os recursos naturais, a biodiversidade e os aspectos sociais das comunidades rurais. Esse caminho exige um compromisso coletivo de governos, produtores, indústria, sociedade civil e instituições de pesquisa, visando a construção de um futuro mais resiliente, equitativo e sustentável para o setor agropecuário.

Conclusões

A baixa diversidade de culturas e produtos energéticos para a produção de biocombustíveis representa um desafio para promoção da sustentabilidade de diferentes setores, uma vez que pode trazer consequências negativas para o clima e a segurança energética nacional. Através do comprometimento dos governos e do setor privado, é possível promover uma transição bem-sucedida para um futuro energético mais limpo, seguro e ambientalmente responsável. Para tanto, é necessário investimentos em pesquisa e desenvolvimento, a implementação de políticas públicas e o uso de terras degradadas para ampliar as matérias-primas, bem como a utilização dos resíduos do seu processamento. A diversificação do cultivo de espécies energéticas é essencial para construir uma economia resiliente e independente de combustíveis fósseis.

Referências

- Anjos, S. S. N. dos, & Nascimento Neto, J. O. do. (2021). Avaliação do impacto de política de subvenção econômica na cadeia produtiva de biodiesel de Babaçu. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 14(Supl. 1), 1–16. <https://doi.org/10.17765/2176-9168.2021v14Supl.1.e8348>
- Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. (2023, August 2) *RenovaBio*. <https://www.gov.br/anp/pt-br/assuntos/renovabio>
- Bonassa, G., Schneider, L. T., Canever, V. B., Cremonez, P. A., Frigo, E. P., Dieter, J., & Teleken, J. G. (2018). Scenarios and prospects of solid biofuel use in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 2365–2378. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.08.075>
- Brasil. (2022). *Portaria SAF/MAPA nº 280, de 27 de maio de 2022*. Dispõe sobre os critérios e procedimentos relativos à concessão e manutenção do direito de uso do Selo Biocombustível Social. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-saf/mapa-n-280-de-27-de-maio-de-2022-403689855>
- Cordes, M. W. (2001). Agricultural zoning: Impacts and future directions. N. Ill. UL Rev., 22, (419). <https://huskiecommons.lib.niu.edu/allfaculty-peerpub>
- Cruz, T. V., Cunha, F., de Carvalho, N. B., Lima, A., Assis, M. G., Lino, J. C., & Conceição, I. R. A. (2014). Agricultura de baixo carbono para produção sustentável de biocombustíveis. In *8 Workshop Agroenergia: Matérias Primas*. http://www.infobibos.com.br/Agroenergia/CD_2014/Resumos/ResumoAgroenergia_2014_034.pdf
- Csikós, N., & Tóth, G. (2023). Concepts of agricultural marginal lands and their utilisation: a review. *Agricultural Systems*, 204, 103-560.

- Dias, T. A. C. (2021) *Avaliação da disponibilidade de terras e do potencial bioenergético em 2050 considerando os limites da segurança alimentar* [Dissertação Mestrado em Engenharia de Energia, - Universidade Federal de Itajubá].
https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2509/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_2021177.pdf
- Domingues, M. S., & Bermann, C. (2012). O arco de desflorestamento na Amazônia: da pecuária à soja. *Ambiente & Sociedade*, 15, 1–22. <https://doi.org/10.1590/S1414-753X2012000200002>
- Empresa de Pesquisa Energética. (2022). *Balanço Energético Nacional 2022: ano base 2021*.
<https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-675/topico-638/BEN2022.pdf>
- Fernandes, F., Carvalho, M., Ramos, A., Braga, G., da Fonseca, C. E. L., Ledo, F. D. S., & Machado, J. (2020). *Biomassa de genótipos de capim-elefante para produção de energia*. Embrapa Cerrados.
<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/222752/1/Bolpd-358-versao-final-bibl.pdf>
- Ferreira, W. L., Hüther, C. M., Pereira, C. R., & da Silva, I. M. (2018). *Desafios ao uso de biodiesel frente à evolução da demanda mundial de energia*. 4 Workshop de Engenharia de Biosistemas - WEB 4.0.
https://app.uff.br/riuff/bitstream/handle/1/8377/Anais%20WEB_IV_2018-12-20.pdf?sequence=1&isAllowed=y#page=31
- Ferreira, P. H., da Silva, G. A. A., Ervite, L., & Castro, D. P. (2018). O Cenário da Produção de Biocombustível no Brasil. *Revista Agroveterinária, Negócios e Tecnologias*, 3(1), 89-102.
- Ferreira, V. R. D. S., Takahashi, V. M., DE Cademartori, P. H. G., Carneiro, M. E., & Silva, D. A. da. (2021). Qualidade energética de resíduos madeireiros paricá e Pinus. *Energia na Agricultura*, 36(2), 230-238.
<http://dx.doi.org/10.17224/EnergAgric.2021v36n2p230-238>

- Fortaleza, A. P., Ceretta, R. P. D. S., Barros, D. D. S., & Silva, S. S. D. (2019). Biomassa de espécies florestais para produção de carvão vegetal. *Ciência Florestal*, 29, 1436-1451. <https://doi.org/10.5902/1980509831639>
- Gallardo-López, F., Hernández-Chontal, M., Cisneros-Saguilán, P., & Linares-Gabriel, A. (2018). Development of the Concept of Agroecology in Europe: A Review. *Sustainability*, 10(4), 1210. <https://doi.org/10.3390/su10041210>
- Gazzoni, D. L. (2011). Biocombustíveis e biodiversidade. *BiodieselBR*. <https://www.biodieselbr.com/noticias/columnistas/gazzoni/biocombustiveis-biodiversidade-04-11-09>
- Guerra, A. L. D. S. C., Ságio, S. M., Santos, E. P. dos, Pinheiro Filho, I. S., Silva, L. G. dos S., & Tavares, K. M. (2023). Criatividade e Inovação na Indústria: uso da Macaúba na Produção do Biodiesel. *Revista de psicologia*, 17(66), 413-422. <https://doi.org/10.14295/idonline.v17i66.3784>
- Hakeem, K. R., Bandh, S. A., Malla, F. A., & Mehmood, M. A. (2023). *Environmental Sustainability of Biofuels*. Elsevier. <https://doi.org/10.1016/C2020-0-04172-1>
- IBGE. (2023c). *Tabela 291 - Quantidade produzida e valor da produção na silvicultura, por tipo de produto da silvicultura*. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/291>
- IBGE. (2023b). *Tabela 5930 - Área total existente em 31/12 dos efetivos da silvicultura, por espécie florestal*. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/5930>
- IBGE. (2023a). *Tabela 6588 - Série histórica da estimativa anual da área plantada, área colhida, produção e rendimento médio dos produtos das lavouras*. Levantamento sistemático da produção agrícola. SIDRA - Sistema IBGE de Recuperação

Automática. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística.

<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/6588>

International Energy Agency. (2023, July 31). *Bioenergy: Energy system. Renewables*.

<https://www.iea.org/energy-system/renewables/bioenergy>

Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In H. O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, & B. Rama (Eds.). *Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas*. Cambridge University Press.

<https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg2/>

Jarma O, A. D. J., Pompelli, M. F., Oliviera, M. T. de, Rodrigues, B. R. M., Barbosa, M. O., Santos, M. G., & Cortez, J. S. de A. (2011). Crise energética mundial e o papel do Brasil na problemática de biocombustíveis. *Agronomía Colombiana*, 29(2), 423–433.

Jayakumar, M., Kaleab Bizuneh Gebeyehu, Lata Deso Abo, Amberbir Wondimu Tadesse, B. Vivekanandan, Venkatesa Prabhu Sundramurthy, Bacha, W., Veeramuthu Ashokkumar, & Gurunathan Baskar. (2023). A comprehensive outlook on topical processing methods for biofuel production and its thermal applications: Current advances, sustainability and challenges. *Fuel*, 349, 128690–128690.

<https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128690>

Kumar, R. (2015) Risking the Farm: Will the Smallholder Survive? *Economic and Political Weekly*, 50(32), 27–31. <https://www.jstor.org/stable/24482522>

Kumar, R., Mishra, V., Buzan, J., Kumar, R., Shindell, D., & Huber, M. (2017). Dominant control of agriculture and irrigation on urban heat island in India. *Scientific Reports*, 7(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-017-14213-2>

Lima, J. R. de O., Silva, R. B. da, Silva, C. C. M. da, Santos, L. S. S. dos, Santos Jr., J. R. dos, Moura, E. M., & Moura, C. V. R. de. (2007). Biodiesel de babaçu (*Orbignya sp.*)

obtido por via etanólica. *Química Nova*, 30(3), 600–603.

<https://doi.org/10.1590/s0100-40422007000300019>

Lima, É, R., Silva, R. A. D., Sousa, E. A. M., Amurim, A. I. L. C., & Lichston, J. E. (2019).

Perfil dos agricultores familiares da agrovila canudos, Ceará-Mirim/RN, e aceitação do *Carthamus tinctorius* L. – oleaginosa promissora para biodiesel. *Nature and Conservation*, 12(3), 17-24. doi: <http://doi.org/10.6008/CBPC2318-2881.2019.003.0003>

Marasca, N., Mateus Rodrigues Brito, Michele, Cristiane Pedrazzi, Scapin, E., & Diel, K.

(2022). Analysis of the potential of cupuaçu husks (*Theobroma grandiflorum*) as raw material for the synthesis of bioproducts and energy generation. *Food Science and Technology*, 42. <https://doi.org/10.1590/fst.48421>

Melnikova, I., Boucher, O., Cadule, P., Tanaka, K., Gasser, T., Tomohiro Hajima, Yann

Quilcaille, Hideo Shiogama, Séférian, R., Kaoru Tachiiri, Vuichard, N., Tokuta, Y., & Philippe, C. (2022). Impact of bioenergy crop expansion on climate–carbon cycle feedbacks in overshoot scenarios. *Earth System Dynamics*, 13(2), 779–794.

<https://doi.org/10.5194/esd-13-779-2022>

Mendes, M. C. de Q., Gonzalez, A. A. C., Menezes, M., Nunes, J. M. de C., Pereira, S., &

Nascimento, I. A. (2012). Coleção de microalgas de ambientes dulciaquícolas naturais da Bahia, Brasil, como potencial fonte para a produção de biocombustíveis: uma abordagem taxonômica. *Acta Botanica Brasilica*, 26(3), 691–696.

<https://doi.org/10.1590/s0102-33062012000300019>

Messias, U., Silva, M., Silva Filho, F. A., Veloso, M. D. C., Antonini, J. D. A., Maria da Luz

Lima Silva, U. F. R. P. E., Francisco Artur, & Silva Filho, U. E. S. P. I. (2020).

Potencial físico-químico do óleo do dendezeiro cultivado em Parnaíba, Piauí, para produção de biocombustível. *Comunicado Técnico 255*. Embrapa.

<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/223595/1/PotencialFisicoQuimicoOleoDendezeiro.pdf>

Miller, G. T., & Spoolman, S. E. (2021). *Ciência Ambiental*. CENGAGE Learning.

Ministério da Agricultura e Pecuária. (2022). *Selo Biocombustível Social promove a inclusão e capacitação técnica de agricultores familiares*. Agricultura Familiar.

<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias-2022/mudancas-na-concessao-do-selo-biocombustivel-social>

Ministério de Minas e Energia. (2023). BEM - *Relatório Síntese 2023: ano base 2022*.

Balanco Energético Nacional. Ministério de Minas e Energia.

https://www.epe.gov.br/sites-pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/PublicacoesArquivos/publicacao-748/topico-681/BEN_S%C3%ADntese_2023_PT.pdf

Næss, J. S., Hu, X., Gvein, M. H., Iordan, C. M., Cavalett, O., Dorber, M., & Cherubini, F. (2023). Climate change mitigation potentials of biofuels produced from perennial crops and natural regrowth on abandoned and degraded cropland in Nordic countries. *Journal of Environmental Management*, 325, 116474.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.116474>

Nagaishi, T. Y. R., Kato, O. R., Dionisio, L. F. S., Aragão, D. V., Numazawa, S., Lima, E. G. da S., Bronze, A. B. da S., & Nagaishi, M. da S. C. F. (2020). Biocombustíveis alternativos na agricultura familiar na Amazônia. *Brazilian Journal of Development*, 6(9), 65475–65496. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n9-106>

Nalevaiko, J. Z., Cremonez, P. A., & Teleken, J. G. (2021). Utilização de subprodutos agroindustriais na produção de briquetes. *Revista Brasileira de Engenharia de Biosistemas*, 15(1), 1-26. <http://dx.doi.org/10.18011/bioeng2021v15n1p1-10>

Narita, D. K., Nakashima, G. T., Róz, A. L. D., Pires, A. A. F., & Yamaji, F. M. (2018). Uso do guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) para fins energéticos. *Ciência Florestal*, 28, 758-764. <https://doi.org/10.5902/1980509832089>

Paiva, C. Z. M. S., Rabbani, A. R. C., Silva, A. G., Setubal, A. C. & Santos, D. S. S. (2021). *Jatropha mollissima* (Pohl) Baill. e *Jatropha ribifolia* (Pohl) Baill.: espécies promissoras para a bioenergia? In A. R. C. Rabbani, & J. P. Fabris. (Orgs.), *Desafios*

Ambientais e Culturas Agrícolas. Backup Books Editora (163–192). Disponível em:
https://backupbooks.com.br/index.php?route=product/product&product_id=60

Passinho, M. S., Barbosa, D., Souza, M. J., & Xavier, N. (2019). Uso da semente de açaí como alternativa energética na indústria de beneficiamento de polpa de açaí. *Enciclopédia Biosfera*, 16(29), 1473–1484.
<https://www.conhecer.org.br/ojs/index.php/biosfera/article/view/298>

Pauli, R. I. P., Zajonz, B. T., Schulz, J. R. da S., & Freitas, C. A. de. (2020). A segurança alimentar e nutricional (San) vem sofrendo restrições pela produção de biocombustíveis? uma análise a partir do modelo de Zockun. *RDE - Revista de Desenvolvimento Econômico*, 2(46). <https://doi.org/10.36810/rde.v2i46.6774>

Parlamento Europeu. (2020) *Perda de biodiversidade: quais as causas e as consequências?*
<https://www.europarl.europa.eu/news/pt/headlines/society/20200109STO69929/perda-de-biodiversidade-quais-as-causas-e-as-consequencias>

Peixoto, R. D. L., Moura, L. F. O., Sousa, A. B. P., Santos, M. V. D., Medeiros, V. M. B., & T.C. Bicudo. (2022). *Dependência das propriedades de fluxo e da estabilidade à oxidação com o grau de insaturação do biodiesel obtido de misturas dos óleos de dendê e soja*. In Editora Científica Digital (Org.). *Open science research IX*. Editora Científica Digital. <https://doi.org/10.37885/221211252>

Pereira, E. R. de L., Araújo, V. B. da S., Lira, E. B. de, Morais, V. M. M., Sassi, C. F. da C., Fernandes, H. F., Medeiros, M. B. de, Sassi, R., & Athayde-Filho, P. F. de. (2020). Bioprospecção de espécies de microalgas regionais do Nordeste do Brasil para aplicação na produção de biocombustíveis. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, 7(16), 809–833. [https://doi.org/10.21438/rbgas\(2020\)071624](https://doi.org/10.21438/rbgas(2020)071624)

Queiroz, I. R., Costa, A. S. V. da, Almeida, I. C., Barros, G. F., Alves, W. M., Souza, M. C. de & Franco, M. L., Pompermayer, R. de S., Souza, A. O. & Ferreira, A. C. (2021). Biofuels in Brazil: potentialities of *Crambe abyssinica* culture for biodiesel production. *Research, Society and Development* 10(5), 11510514618.
<https://doi.org/10.33448/rsd-v10i5.14618>

- Rabbani, A. R. C. (2023a). Culturas Energéticas e o estado da Bahia. *Petim*, 4, 32-36.
- Rabbani, A. R. C., Rabbani, R. M. R., & Rabbani, E. K. (2023b) Somos todos um! In P. A. R. Arenas. (Org.). *Cidadania Mundial: um sonho possível*. Ed. dos Autores.
- Regan, J. T., Marton, S., Barrantes, O., Ruane, E., Hanegraaf, M., Berland, J., & Nesme, T. (2017). Does the recoupling of dairy and crop production via cooperation between farms generate environmental benefits? A case-study approach in Europe. *European journal of agronomy*, 82, 342-356. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.08.005>
- Reis, A. R. S., Reis, J. S. F., Silva, J. R., Carvalho, J. C., Souza, D. V., & Reis, L. P. (2015). Comparação entre Carvão de Coco Babaçu e Carvão de Resíduos Madeireiros Comercializados em Altamira – PA. *Revista Ciência Da Madeira - RCM*, 6(2), 100–106. <https://doi.org/10.12953/2177-6830/rcm.v6n2p100-106>
- Rodrigues, A. (2022). Produção de biocombustíveis a partir de microalgas: uma revisão. *Revista Ambientale*, 14(2), 10–21. <https://doi.org/10.48180/ambientale.v14i2.370>
- Rosegrant, M. W., Sulser, T. B., & Wiebe, K. (2022). Global investment gap in agricultural research and innovation to meet Sustainable Development Goals for hunger and Paris Agreement climate change mitigation. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 6. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.965767>
- Ross, F. W. R., Boyd, P. W., Filbee-Dexter, K., Watanabe, K., Ortega, A., Krause-Jensen, D., Lovelock, C., Sondak, C. F. A., Bach, L. T., Duarte, C. M., Serrano, O., Beardall, J., Tarbuck, P., & Macreadie, P. I. (2023). Potential role of seaweeds in climate change mitigation. *Science of the Total Environment*, 885, 163699. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.163699>
- Sachet, E., Mertz, O., Le Coq, J.-F., Cruz-Garcia, G. S., Francesconi, W., Bonin, M., & Quintero, M. (2021). Agroecological Transitions: A Systematic Review of Research Approaches and Prospects for Participatory Action Methods. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.709401>

Santos, A. C. D., Anjos, S. S. N. dos, Braga, M., Viana, N. M., & Soares, I. P. (2022).

Aplicação industrial de óleos vegetais em biocombustível: um estudo prospectivo e análise de sinais para apontar tendências de mercado. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 39(2), 26995. <https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2022.v39.26995>

Santos, E. C. S. D., Souza, R. C. R., & Seye, O. (2004). Aproveitamento da casca do cupuaçuzeiro para a produção de energia. *Proceedings of the 5th Encontro de Energia no Meio Rural*. <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v1/015.pdf>

Santos, J. A. L., & Cruz, C. D. S. (2017). Energias renováveis: potencialidades e desafios da produção de biodiesel na Bahia. *Bahia Análise & Dados*, 27(1), 230-257. http://www.leste.igeo.ufba.br/sites/leste.igeo.ufba.br/files/renovaveis_biodiesel_bahia.pdf

Schwarz, G., Vanni, F., Miller, D., Helin, J., Pražan, J., Albanito, F., & Zīlāns, A. (2022).

Exploring sustainability implications of transitions to agroecology: a transdisciplinary perspective. *EuroChoices*, 21(3), 37-47. <https://zenodo.org/badge/DOI/10.1111/1746-692X.12377.svg>

Silva, K. P., 2020 *Culturas energéticas debates agroenergéticos*. PPV 688. Culturas Energéticas. Informativo. Programa de Pós-graduação em Produção Vegetal, Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, Brasil. <http://site.ufvjm.edu.br/ica/files/2020/07/6-Sistemas-integrados-de-cultivo-alimentos-e-energia.pdf>

Smale, D. A., Wernberg, T., Oliver, E. C. J., Thomsen, M., Harvey, B. P., Straub, S. C., Burrows, M. T., Alexander, L. V., Benthuyssen, J. A., Donat, M. G., Feng, M., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Perkins-Kirkpatrick, S. E., Scannell, H. A., Sen Gupta, A., Payne, B. L., & Moore, P. J. (2019). Marine heatwaves threaten global biodiversity and the provision of ecosystem services. *Nature Climate Change*, 9(4), 306–312. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>

Souza, M. G. S., Guimarães, M. G., Macedo, J. L., Rodrigues, J. P., & Ghesti, G. F. (2019). Caracterização e utilização de óleo residual de pequi (*Caryocar brasiliense*) na

produção de biocombustíveis líquidos. *Revista Interdisciplinar de Pesquisa Em Engenharia*, 5(2), 41–49. <https://doi.org/10.26512/ripe.v5i2.28222>

Stachiw, R., Ribeiro, S. B., Jardim, M. A. G., Possimoser, D., Alves, W. da C., & Cavalheiro, W. C. S. (2016). Potencial de produção de biodiesel com espécies oleaginosas nativas de Rondônia, Brasil. *Acta Amazonica*, 46(1), 81–90. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201501151>

Suali, E., & Latifah Suali. (2023). Impact assessment of global biofuel regulations and policies on biodiversity. In K. R. Hakeem, S. A. Bandh, F. A. Malla, & M. A. Mehmood. *Environmental Sustainability of Biofuels* (pp. 137–161). Elsevier <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-91159-7.00012-6>

Tavares, S. R. de L., & Santos, T. E. dos. (2013, dez.). Uso de diferentes fontes de biomassa vegetal para a produção de biocombustíveis sólidos. *Holos*, 5, 19. <https://doi.org/10.15628/holos.2013.1850>

Usmani, R. A. (2023). Biofuel consumption and global climate change: Solutions and challenges. In K. R. Hakeem, S. A. Bandh, F. A. Malla, & M. A. Mehmood. (Eds.). *Environmental Sustainability of Biofuels* (183-200). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91159-7.00019-9>

Vidal, M. F. (2023, July 31). *Produção e uso de biocombustíveis no Brasil*. https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/914/1/2021_CDS_184.pdf

Vidaurre, G. B., Carneiro, A. D. C. O., Vital, B. R., Santos, R. C. D., & Valle, M. L. A. (2012). Propriedades energéticas da madeira e do carvão de paricá (*Schizolobium amazonicum*). *Revista Árvore*, 36, 365-371. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622012000200018>

Wang, J., Jiang, H., & He, Y. (2023). Determinants of Smallholder Farmers' Income-Generating Activities in Rubber Monoculture Dominated Region Based on Sustainable Livelihood Framework. *Energy Conversion and Management*, 12(2), 281–281. <https://doi.org/10.3390/land12020281>

Marcos D.B. Watanabe, Hu, X., Vedant Ballal, Otávio Cavalett, & Cherubini, F. (2023). Climate change mitigation potentials of on grid-connected Power-to-X fuels and advanced biofuels for the European maritime transport. *Energy Conversion and Management*, 20, 100418–100418. <https://doi.org/10.1016/j.ecmx.2023.100418>

Wollmann, C. A., & Galvani, E. (2013). Zoneamento agroclimático: linhas de pesquisa e caracterização teórica-conceitual. *Sociedade & Natureza*, 25(1), 179–190. <https://doi.org/10.1590/s1982-45132013000100014>

World Wide Fund for Nature. (2022). *Viabilidade da macaúba para a produção de biocombustível: resumo executivo*. https://wwfbnew.awsassets.panda.org/downloads/resumoexecutivo_macauba_final_v3.pdf

Zimmermann, C. L. (2009). Monocultura e transgenia: impactos ambientais e insegurança alimentar. *Veredas do Direito*, 6(12), 79-100. <https://core.ac.uk/download/pdf/211934062.pdf>

Agradecimentos

Ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia (IFBA), em especial à Pró-Reitoria de Pesquisa, Pós-Graduação e Inovação (PRPGI/IFBA), e a Universidade Federal do Sul da Bahia pelo apoio institucional e financeiro (Edital nº 14/2022/PRPGI/IFBA; CAPES/PROAP/PPGCTA/ 2023) a esta pesquisa.