

A IMPORTÂNCIA DA BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

**SIMÃO PEREIRA DA SILVA¹, ALEXANDRE SYLVIO VIERA DA COSTA²,
SANDRO LUIZ BARBOSA DOS SANTOS³, MARCELO LUIZ DE LAIA⁴**

1 Doutorando em Biocombustíveis pelo PPGBIOCOMB UFVJM/UFU – Programa de Pós Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e Universidade Federal de Uberlândia (UFU). professorsimao@ufvjm.edu.br.

2 Pós-Doutorado na área de Geociências, Doutor em Fitotecnica, Professor do PPGBIOCOMB UFVJM/UFU – Programa de Pós Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e Universidade Federal de Uberlândia (UFU). alexandre.costa@ufvjm.edu.br.

3 Pós-Doutorado em Espectrometria de Massas, Doutor em Química, Professor do PPGBIOCOMB UFVJM/UFU – Programa de Pós Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e Universidade Federal de Uberlândia (UFU). sandro.barbosa@ufvjm.edu.br.

4 Pós-Doutorado em Agronomia, Doutor em Agronomia (Genética e Melhoramento de Plantas), Professor do PPGBIOCOMB UFVJM/UFU – Programa de Pós Graduação em Biocombustíveis da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) e Universidade Federal de Uberlândia (UFU). marcelolaia@gmail.com.

RESUMO

A biomassa compreende as matérias-primas renováveis de origem florestal, agrícola ou de rejeitos urbanos e industriais, que pode se converter em energia sustentável pela combustão direta, por processos termoquímicos ou por processos biológicos. Na oferta interna de energia na matriz energética brasileira, a participação de fontes renováveis é de 46,1%, nas quais se destacam a biomassa da cana (18%), a hidráulica (12,4%), a lenha e o carvão vegetal (8,7%) e outras renováveis (7%). Na exploração da biomassa brasileira para a geração de energia, destaca-se a cana de açúcar na produção do etanol, o próprio bagaço da cana com outras biomassas na geração da bioeletricidade, e as oleaginosas (principalmente a soja) na produção do biodiesel. Em 2019, foram produzidos 36,0 bilhões de litros de etanol, sendo 25,3 bilhões de hidratado (aumento de 10%) e 10,7 bilhões de anidro, uma elevação de 16% em relação a 2018. O bagaço de cana foi o combustível mais utilizado, com 82%, enquanto a participação de outras biomassas (licor negro, resíduos florestais, biogás, capim elefante, carvão vegetal, casca de arroz e gás de autoforno e lenha) foi de 18% na exportação de energia elétrica para o Sistema Interligado Nacional (SIN). Em 2019, foram consumidos 5,9 bilhões de litros de biodiesel no Brasil, o que representa um aumento de 11,3 % em relação a 2018. As pesquisas realizadas nas universidades brasileiras demonstram forte alinhamento com as perspectivas de aumento da exploração sustentável da biomassa brasileira, com a busca por novas substâncias da biomassa através das atuais e de rotas tecnológicas inovadoras.

Palavras-chave: Bioenergia; Biomassa; Sustentabilidade.

THE IMPORTANCE OF BIOMASS IN THE BRAZILIAN ENERGY MATRIX

ABSTRACT

Renewable biomass comprises forestry, agricultural or urban and industrial waste raw sources. Thermochemical or biological processes can convert these ones into sustainable energy by direct combustion. Brazilian internal energy matrix is supplied with renewable sources in 46.1%. Sugarcane

biomass (18%), hydraulic (12.4%), firewood and charcoal (8.7%) and other renewable (7%) are the main sources. Brazilian energy generation through biomass exploration, sugar cane stands out in ethanol production, sugar cane bagasse and other biomasses in bioelectricity generation, and biodiesel production from oilseeds (mainly soybeans). In 2019, 36.0 ethanol billion liters were produced, which 25.3 billion were hydrated (10% increase) and 10.7 billion are anhydrous, an increase of 16% compared to 2018. Sugar cane bagasse was the most used fuel, with 82%, while other biomasses (black liquor, forest residues, biogas, elephant grass, charcoal, rice husk and blast gas and firewood) shared 18% in electricity exported to the National Interconnected System (SIN). In 2019, 5.9 biodiesel billion liters were consumed in Brazil, which represents a 11.3% increase in relation to 2018. Brazilian universities research shows a strong alignment between sustainable biomass exploitation increasing with new biomass substances investigation, through current and innovative technological routes.

Key-words: Bioenergy; Biomass; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento da civilização condiciona-se à produção e ao uso da energia. Desde a descoberta do fogo para a cocção de alimentos, os recursos naturais foram explorados sem maiores preocupações, pois, acreditava-se que eram infinitos, inclusive os combustíveis fósseis. Entretanto, desde a metade do século XX, o aumento das demandas por energia e o consumo descontrolado dos recursos naturais revelaram que as reservas naturais de energia são finitas. Nessa toada, surgiram a legislação ambiental, a preocupação com o aquecimento global, a necessidade de delimitar emissões de gases de efeito estufa e as crises do petróleo (1956, 1973, 1979, 1991 e 2008), que abalaram muitas nações dependentes do petróleo como fonte de energia preponderante.

Esses fatores combinados induziram a busca por fontes energéticas sustentáveis capazes de suprir a demanda crescente de energia no mundo. Dentre elas, pode-se destacar a energia solar, a energia eólica, a energia atômica e a energia derivada da biomassa.

A biomassa é toda matéria orgânica, seja de origem animal ou vegetal (excluídos os combustíveis fósseis) renovável, que pode ser utilizada na produção de energia (ANEEL, 2002). A biomassa, para fins energéticos, é classificada em três categorias: florestal, agrícola e rejeitos urbanos e industriais. O potencial energético de cada um desses grupos depende tanto da matéria-prima quanto da tecnologia utilizadas no processamento (CARDOSO, 2012).

As principais razões para a geração de energia da biomassa são: a redução da dependência energética e econômica de combustíveis fósseis como petróleo e carvão mineral, a diminuição das emissões GEE (gases de efeito estufa) frente ao aquecimento global e a diversificação da matriz energética do país de forma renovável.

O Brasil possui expressivas vantagens comparativas em relação a outros países para a geração de energia derivada da biomassa: condições climáticas favoráveis, disponibilidade de água e possibilidade de expansão de áreas com plantios energéticos sem competição com a agricultura de alimentos; aperfeiçoamentos tecnológicos em diversas rotas de conversão de biomassa para energia; e aperfeiçoamento de novas fontes de biomassa (gramíneas e florestas energéticas de curta rotação), bem como das fontes tradicionais. Tudo isso potencializa a redução de custos e expansão da produção de bioenergia (RUIZ, 2015).

Diante da capacidade de geração de energia da biomassa, realizou-se uma pesquisa bibliográfica e documental com finalidade descritiva (VERGARA, 2013), sob análise de conteúdo como técnica qualitativa (BARDIN, 2011) e técnicas quantitativas (HAIR JR, 2005) sobre as principais energias originadas da biomassa brasileira e sobre as pesquisas recentes realizadas por pesquisadores brasileiros sobre a biomassa energética brasileira.

2 CLASSIFICAÇÃO DA BIOMASSA

Biomassa é o termo usado que sintetiza o grupo de produtos energéticos e matérias-primas renováveis da matéria orgânica formada por via biológica (SEYE, 2003), de origem florestal, agrícola, ou de rejeitos urbanos e industriais (HINRICHS; KLEINBACH; REIS, 2010).

A biomassa florestal sempre teve papel importante na matriz energética brasileira, cujo principal uso é o carvão vegetal e a lenha, além da grande quantidade de resíduos convertidos em *pellets* ou briquetes. A biomassa energética florestal constitui-se de produtos e subprodutos dos recursos florestais de biomassa lenhosa, produzida de forma sustentável a partir de florestas cultivadas ou de florestas nativas obtida por desflorestamento legal, para abertura de áreas para agropecuária, ou ainda originada em atividades que processam ou utilizam a madeira para fins não energéticos, como a indústria de papel e celulose, indústria moveleira e serrarias, cujo conteúdo energético está na celulose e na lignina contidas na matéria e ao baixo teor de umidade (CARDOSO, 2012).

Seu aproveitamento energético se realiza, principalmente, através das rotas tecnológicas de transformação termoquímica mais simples, como combustão direta e carbonização. Entretanto, rotas mais complexas também são empregadas para a produção de combustíveis líquidos e gasosos, como metanol, etanol, gases de síntese, licor negro (um subproduto da indústria de celulose), entre outros (EPE, 2015).

A biomassa energética agrícola inclui as culturas agroenergéticas e os resíduos e subprodutos das atividades agrícolas, agroindustriais e da produção animal (CARDOSO, 2012). São os produtos e subprodutos derivados das plantações não-florestais das culturas com teores de amido, celulose, carboidratos e lipídios, sobre os quais são empregadas transformações biológicas e químicas (fermentação, hidrólise e esterificação) para a produção de combustíveis líquidos como o etanol e os ésteres metílicos ou etílicos de ácidos graxos (biodiesel). Para fins energéticos, destacam-se a cana de açúcar, o milho, o trigo, a beterraba, a soja, o sebo bovino, o amendoim, o girassol, a mamona, o dendê e a macaúba, além de muitas outras oleaginosas em fase de pesquisa.

O terceiro tipo de biomassa são os rejeitos urbanos e industriais que se encontram nos resíduos sólidos e líquidos urbanos concentrados no lixo e no esgoto. No lixo urbano, há uma mistura complexa de metais, plásticos, vidro, resíduos celulósicos, resíduos vegetais, e matéria orgânica, que pode ter aproveitamento energético (após a separação dos materiais recicláveis) pela combustão direta, gaseificação, ou pela via termoquímica, digestão anaeróbica, na produção de biogás, e pela via biológica. O esgoto urbano possui matéria orgânica, que, através da digestão anaeróbica, encontra aplicação energética. Além desses, há, também, os subprodutos resultantes das atividades agroindustriais e da produção animal com potencial energético relevante (CARDOSO, 2012).

A biomassa oferece diversas formas de energia para a geração de biocombustíveis sólidos, líquidos e gasosos. Atualmente, seus principais usos como insumo energético são para a produção de biocombustíveis sólidos para geração de energia térmica (carvão e resíduos agroflorestais), biocombustíveis líquidos (etanol e biodiesel utilizados em motores a combustão) e na geração de energia elétrica (MARAFON *et al.*, 2016).

Em geral, a conversão da biomassa pode ser feita por meio da combustão direta¹ (com ou sem processos físicos de secagem, classificação, compressão, corte/quebra etc.), de processos termoquímicos (gaseificação², pirólise³, liquefação⁴ e transesterificação⁵) ou de

¹ Combustão direta é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio das reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. Para fins energéticos: em fogões, fornos e caldeiras.

² Processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas, envolvendo vapor quente e ar, ou oxigênio, em quantidades inferiores à estequiométrica (mínimo teórico para a combustão) em reatores de leito fixo e de leito fluidizado.

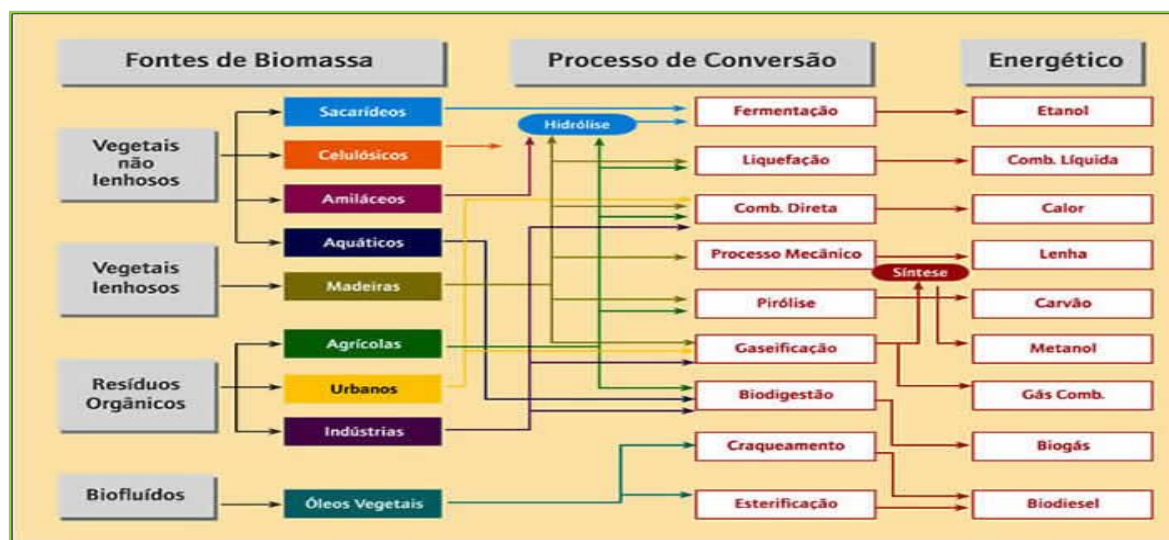
³ Carbonização é o mais simples e mais antigo processo de conversão de um combustível (normalmente lenha) em outro de melhor qualidade e conteúdo energético (carvão, essencialmente).

⁴ Conversão de uma substância no estado gasoso para o estado líquido através do resfriamento dos gases para a destilação fracionada onde voltam a ser gases

⁵ Processo químico que consiste na reação de óleos vegetais com um produto intermediário ativo (metóxido ou etóxido), oriundo da reação entre álcoois (metanol ou etanol) e uma base (hidróxido de sódio ou de potássio) (Ribeiro *et al.*, 2001).

processos biológicos (digestão anaeróbia⁶ e fermentação⁷). A Figura 1 apresenta os principais processos de conversão da biomassa em energéticos (ANEEL, 2008).

Figura 1: Processos de conversão da biomassa em energéticos



Fonte: Balanço Energético Nacional – MEE (1982).

3 A BIOMASSA NA MATRIZ ENERGÉTICA BRASILEIRA

A matriz energética brasileira diz respeito aos recursos energéticos do país representados quantitativamente para embasar as decisões governamentais e privadas quanto ao planejamento do setor energético. A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos, tanto no mercado internacional quanto no interno. É uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e redução da dependência dos combustíveis fósseis (ANEEL, 2008).

O conhecimento e a análise da oferta interna de energia que compõe a matriz energética do país (descritos na Tabela 1) permitem compreender a participação e a importância da biomassa no setor energético brasileiro. Na oferta interna de energia, predomina a participação de fontes não renováveis e nocivas ao meio ambiente, sendo essencial a diversificação da matriz, para que se consiga mitigar os impactos ambientais gerados pela utilização desses recursos (LOPES *et al.*, 2019).

⁶ Ocorre na ausência de ar, mas o processo consiste na decomposição do material pela ação de bactérias (microrganismos acidogênicos e metanogênicos). Ocorre naturalmente com quase todos os compostos orgânicos.

⁷ Processo biológico anaeróbico em que os açúcares de plantas (batata, milho, beterraba e a cana de açúcar são convertidos em álcool, por meio da ação de microrganismos (usualmente leveduras).

Na Tabela 1, percebe-se um crescimento das fontes renováveis (2,8%) superior ao crescimento das fontes não renováveis (0,2%) entre os anos de 2018 a 2019. Uma das justificativas para esse resultado positivo está na alta participação da biomassa da cana, cujo crescimento de 5,5% foi superior a todas as fontes renováveis e não renováveis, havendo uma redução expressiva no uso do carvão mineral (não renovável) em 5,7% entre os anos analisados.

Tabela 1: Oferta Interna de Energia 2019/2018 (Mtep)

Especificação	2018	2019	$\Delta 19/18$	% 2018	% 2019
NÃO-RENOVÁVEL	158,0	158,4	0,2%		
Petróleo e Derivados	99,6	101,1	1,4%	63,03	63,82
Gás Natural	35,9	35,9	0,0%	22,72	22,66
Carvão Mineral	16,4	15,5	-5,7%	10,37	9,78
Urânio (U3O8) e Derivados	4,2	4,2	0,0%	2,60	2,65
Outras Não-renováveis	1,8	1,8	3,7%	1,13	1,13
RENOVÁVEIS	131,9	135,6	2,8%		
Biomassa da Cana	50,1	52,8	5,5%	37,98	38,93
Energia Hidráulica	36,5	36,4	-0,3%	27,67	26,84
Lenha e Carvão Vegetal	25,5	25,7	0,8%	19,33	18,95
Outras Renováveis	19,8	20,7	4,4%	15,01	15,26
TOTAL	289,8	294,0	1,01%		
Fósseis	153,70	154,30	0,76%		

Fonte: Balanço Energético Nacional 2020 – EPE (2020).

O bagaço da cana é a principal biomassa empregada para geração de energia renovável no Brasil. Sua participação decorre da indústria de etanol e açúcar consolidada em solo nacional desde o Programa Nacional do Alcool (Proálcool), em 1975. Com ele, a indústria sucroenergética nacional foi ampliada e virou referência internacional. O Proálcool é considerado um programa pioneiro de biocombustíveis e teve como principal objetivo produzir um combustível alternativo nacional, devido às crises do petróleo em 1973 e 1979, que impactaram fortemente o balanço de pagamentos (EPE, 2015).

Dentre as fontes não renováveis, destaca-se o aumento de 0,76% da participação daquelas fontes intensivamente fósseis entre os anos de 2018 e 2019.

Outras fontes renováveis da biomassa também tiveram desempenho positivo (4,4%) de 2018 para 2019 e impulsionaram o aumento da participação da biomassa na matriz energética nacional. São elas: biodiesel (11,1%), eólica (15,5%), solar (92,2%), biogás (31,8%), outras biomassas: casca de arroz, capim elefante e óleos vegetais (1,4%), apesar das quedas nas fontes de biomassa lixívia (- 6,3%) e o gás industrial de carvão vegetal (- 8,0%).

Vale destacar que o biodiesel é favorecido pela política de adição deste combustível no diesel fóssil, foi 10% de adição em 2019 e 12% 2020 reduzida para 11% de 01/11 a 31/12/2020 pela Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP, 2020). E que, no caso da energia hidráulica, considera-se a importação de eletricidade oriunda de fonte hidráulica (EPE, 2020).

Em síntese, na oferta interna de energia na matriz energética brasileira, a participação de fontes renováveis é de 46,1%, nas quais se destacam a biomassa da cana (18%), hidráulica (12,4%), lenha e carvão vegetal (8,7%) e outras renováveis (7%), e a participação de fontes não renováveis é de 53,9%: petróleo e derivados (34,4%), gás natural (12,2%), carvão mineral (5,3%), urânio (1,4%) e outras não renováveis (0,6%). No mundo, a participação de renováveis na matriz energética é de 13,9% e nos países da Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE) é de 10,8% (EPE, 2020).

Em 2019, as emissões antrópicas associadas à matriz energética brasileira atingiram 419,9 milhões de toneladas de dióxido de carbono (1% a mais que 2018; 2% na taxa média de crescimento anual entre 2000 a 2019), sendo a maior parte (193,4 Mt CO₂-eq) gerada no setor de transportes (190,5 ou 45,4%), seguido da indústria (75,8 ou 18%), das residências (18,6 ou 4,4%) e de outros setores, incluindo agropecuário, serviços, energético, elétrico e as emissões fugitivas (135 ou 32,2%).

Cada brasileiro produzindo e consumindo energia, em 2019, emitiu em média 2,0 t CO₂-eq, cerca de 1/7 de um americano e 1/3 de um cidadão europeu ou um chinês de acordo com os últimos dados da Agência Internacional de Energia (IEA) para o ano de 2017. A intensidade de carbono na economia brasileira equivale a 33% da economia chinesa, 56% da economia americana e 88% da economia da União Europeia (EPE, 2020).

Contudo, a intensificação do uso da biomassa pode reduzir essas emissões devido ao seu baixo nível de emissões de CO₂ na atmosfera, cujo aumento de sua participação na matriz

energética pode gerar empregos, reduzir o êxodo rural e fortalecer a soberania energética nacional (LOPES *et al.*, 2019).

4 AS PRINCIPAIS ENERGIAS GERADAS DA BIOMASSA NO BRASIL

Na exploração da biomassa brasileira para a geração de energia, destaca-se a cana de açúcar na produção do etanol, o próprio bagaço da cana com outras biomassas na geração da bioeletricidade e as oleaginosas (principalmente a soja) na produção do biodiesel.

4.1 A Produção do Etanol

Em 2019, foram produzidos 36,0 bilhões de litros de etanol, 25,3 bilhões de hidratado (aumento de 10%) e 10,7 bilhões de anidro (elevação de 16%) em relação a 2018. O volume total de etanol produzido foi 11% superior a 2018 (Tabela 2).

Tabela 2: Produção brasileira de etanol de 2008 a 2019

Ano	Anidro	Hidratado	Total
	(Bilhões de litros)		
2008	9,6	17,6	27,2
2009	7,0	19,1	26,1
2010	8,0	19,9	28,0
2011	8,7	14,2	22,9
2012	9,7	13,9	23,6
2013	11,7	16,0	27,7
2014	11,7	16,8	28,5
2015	11,3	19,0	30,3
2016	11,2	17,1	28,3
2017	11,1	16,6	27,7
2018	9,2	23,1	32,3
2019	10,7	25,3	36,0

Fonte: EPE (2020).

Esses resultados podem ser justificados pela queda nos preços da gasolina, pela relação favorável ao etanol entre os preços médios do etanol hidratado e da gasolina tipo C, e pelo crescimento expressivo da produção do etanol do milho nos últimos anos, 85% superior em 2019 em relação a 2018. A produção de etanol sofreu pequenas oscilações, mas manteve-se com desempenho positivo. Somadas às vendas de etanol anidro (10,4 milhões de m³) e

hidratado (19,4 milhões de m³) em 2018, elas foram superiores às de gasolina tipo A (28 milhões de m³), em 2018 (ANP, 2020). No período das safras de 2009/2010 a 2019/2020, as usinas brasileiras têm destinado a maior parte do ATR⁸ para o etanol (65%) (Tabela 3).

Tabela 3: Mix da produção: açúcar x etanol safras 2009/2010 a 2019/2020

Safra	Açúcar	Anidro	Hidratado
	(% ATR - Açúcar Total Recuperável)		
2009/10	45,1	16,7	38,2
2010/11	48,1	17,2	34,7
2011/12	49,8	20,9	29,2
2012/13	49,7	21,5	28,8
2013/14	45,2	23,6	31,2
2014/15	43,1	23,9	33,0
2015/16	40,4	22,5	37,1
2016/17	45,9	22,1	32,0
2017/18	45,9	22,4	31,7
2018/19	35,5	19,2	45,3
2019/20	35,3	20,1	44,6

Fonte: CONAB (2020).

A produção do etanol no Brasil deriva da biomassa da cana de açúcar, da cana planta e do milho. A produção nacional de etanol de milho (Tabela 4) registrou 1,3 bilhão de litros em 2019.

Tabela 4: Produção de etanol de milho de 2013 a 2019

Ano	Anidro	Hidratado	Total
	(Milhões de litros)		
2013	3,3	7,2	10,5
2014	6,3	64,6	70,9
2015	13,1	108,1	121,2
2016	34,6	166,2	200,8
2017	77,8	334,9	412,8
2018	182,3	537,9	720,2
2019	398,5	931,7	1.330,2

Fonte: ÚNICA (2020).

⁸ Açúcar Total Recuperável: refere-se à qualidade da cana, a capacidade de ser convertida em açúcar ou álcool através dos coeficientes de transformação de cada unidade produtiva, cujo cálculo é atrelado ao preço dos produtos finais da produção de cana: o açúcar e o álcool.

A participação da cana plantada na área total colhida e sua produtividade média no setor sucroenergético brasileiro oscilou entre 20 e 15% nas safras 2012/2013 e 2019/2010, mas com taxa de produtividade (tc/ha) crescente: 76,1 tc/ha na safra 2019/2020 (Tabela 5).

Tabela 5: Participação da cana planta na área total colhida e produtividade nas safras 2012/2013 a 2019/2020

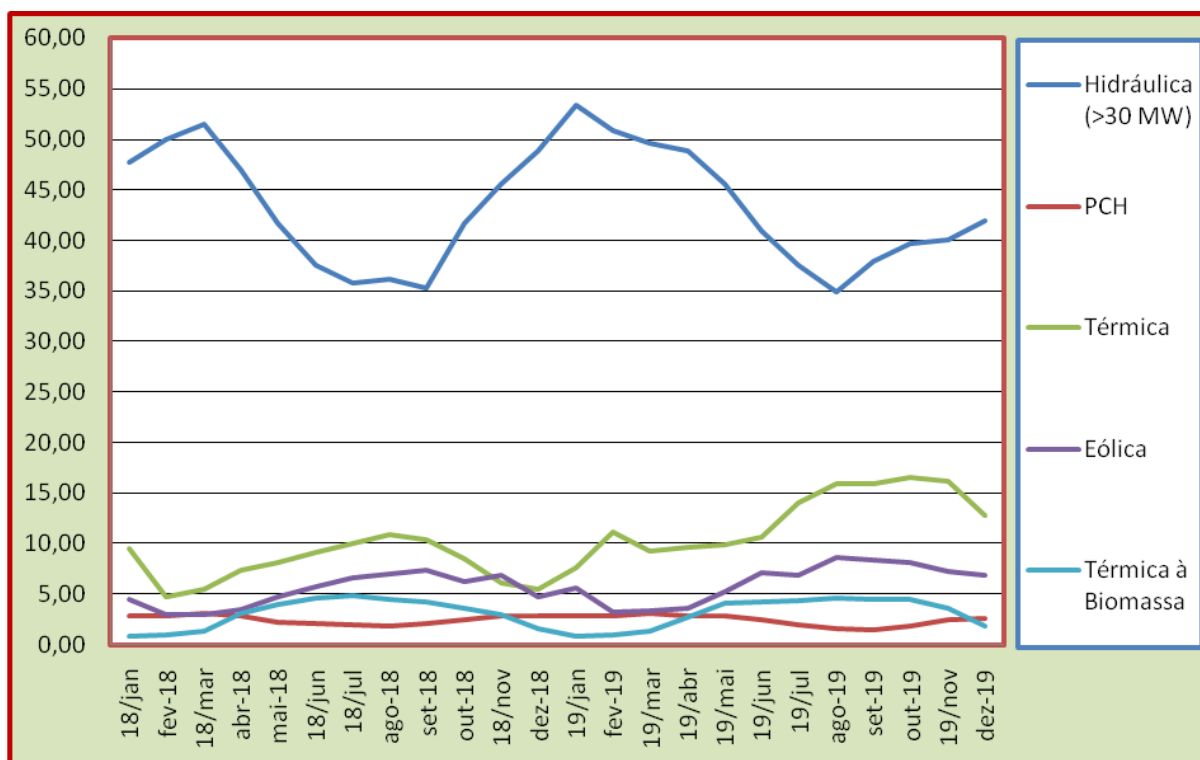
Safra	Participação %	Perfil desejado (%)	Expansão (%)	Renovação (%)	Produtividade (tc/ha)
2012/13	20,3%	18,0%	8,3%	11,9%	69,4
2013/14	23,6%	18,0%	9,9%	13,7%	74,8
2014/15	20,6%	18,0%	7,0%	13,6%	70,5
2015/16	19,5%	18,0%	4,9%	14,6%	76,9
2016/17	10,4%	18,0%	2,1%	8,3%	72,6
2017/18	11,0%	18,0%	1,8%	9,2%	72,5
2018/19	13,7%	18,0%	2,4%	11,3%	72,2
2019/20	15,2%	18,0%	2,6%	12,5%	76,1

Fonte: EPE (2020).

Em síntese, além de ser a biomassa responsável pela produção do etanol, a cana de açúcar gera subprodutos como o bagaço, a vinhaça e o melaço, que podem ser aproveitados como fonte de biomassa para geração de outras energias renováveis, e faz com que biomassa da cana de açúcar seja 18% dos 46% da biomassa explorada no Brasil para a geração de energia interna (EPE, 2020a).

4.2 A Biomassa da cana na geração de bioeletricidade

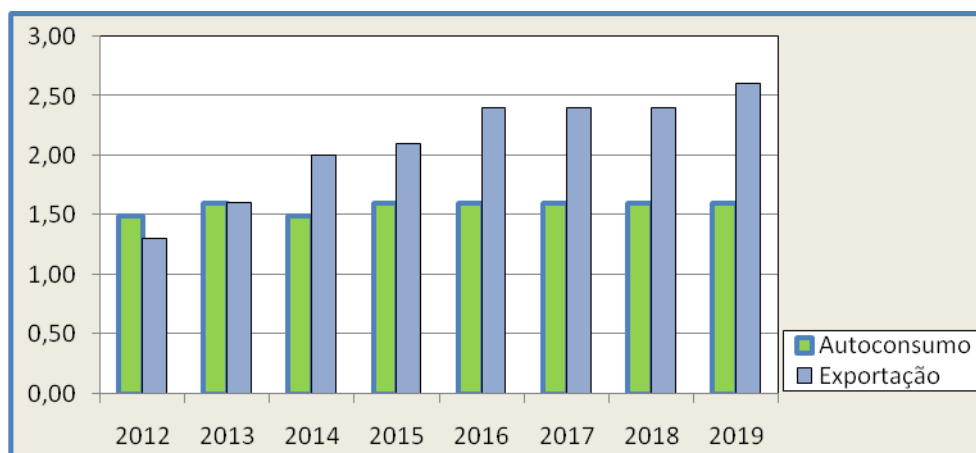
A participação da geração térmica à biomassa tem se tornado cada vez mais significativa na matriz energética nacional. Entre janeiro e dezembro de 2019, verificou-se um crescimento na injeção de 3,4%, em comparação ao mesmo período de 2018 (EPE, 2020a). O bagaço de cana foi o combustível mais utilizado, com 82%, enquanto a participação de outras biomassas (licor negro, resíduos florestais, biogás, capim elefante, carvão vegetal, casca de arroz e gás de autoforno e lenha) foi de 18% na exportação de energia para o Sistema Interligado Nacional (SIN), e se mantém estável desde 2014 (EPE, 2020a).

Figura 2: Participação da biomassa da cana na geração de energia elétrica (Gwméd)

Fonte: EPE (2020).

A Figura 2 apresenta a participação sazonal da biomassa de cana na geração elétrica em 2018/2019, que complementa a fonte hídrica, uma vez que o aumento da geração da bioeletricidade ocorre durante a safra simultaneamente ao período da estiagem (CCEE, 2020).

Em 2019, a energia exportada da cana-de-açúcar na matriz elétrica nacional foi mantida em 3,8% em relação a 2018. As usinas sucroenergéticas, além de autossuficientes nos últimos anos, exportaram para o Sistema Integrado Nacional (SIN) 2,6 GWméd, valor 4,5% superior ao verificado em 2018 (Figura 3).

Figura 3: Autoconsumo e energia exportada pelas usinas da cana (Gwméd)

Fonte: EPE (2020).

São 366 usinas de biomassa da cana-de-açúcar em operação, das quais 220 comercializaram eletricidade, oito usinas a mais de 2018 para 2019.

4.3 A Produção do Biodiesel

O biodiesel é um combustível renovável obtido a partir de um processo químico denominado transesterificação, pelo qual os triglicerídeos presentes nos óleos vegetais e gordura animal reagem com um álcool, metanol ou etanol, gerando o éster e a glicerina. O primeiro somente pode ser comercializado como biodiesel, após passar por purificação, é destinado à aplicação em motores de ignição por compressão - ciclo Diesel (ANP, 2020a).

No Brasil, o biodiesel foi institucionalizado pelo Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), em 2004, como uma nova fonte energética, que objetiva a diversificação das oleaginosas (Figura 2) e a inserção da agricultura familiar no processo de sua produção (ANP, 2020).

Figura 4: Distribuição das Principais Oleaginosas aptas à produção do Biodiesel

Fonte: FRANCO; SOUZA, 2010.

Em 2019, foram consumidos 5,9 bilhões de litros de biodiesel no Brasil, o que representa um aumento de 11,3 % em relação a 2018 (Tabela 6). O percentual de adição obrigatória do biodiesel à mistura com o diesel fóssil foi elevado para 12% em março de 2020, com previsão de aumento da adição para 15% até 2023.

O Brasil está entre os três maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo com 51 usinas produtoras, junto a EUA e a Indonésia. A capacidade instalada dessas 51 usinas correspondeu a 9,3 bilhões de litros, mas a produção em 2019 correspondeu a 63% dessa capacidade, o que demonstra que há potencial para o crescimento da produção desse biocombustível (ANP, 2020a).

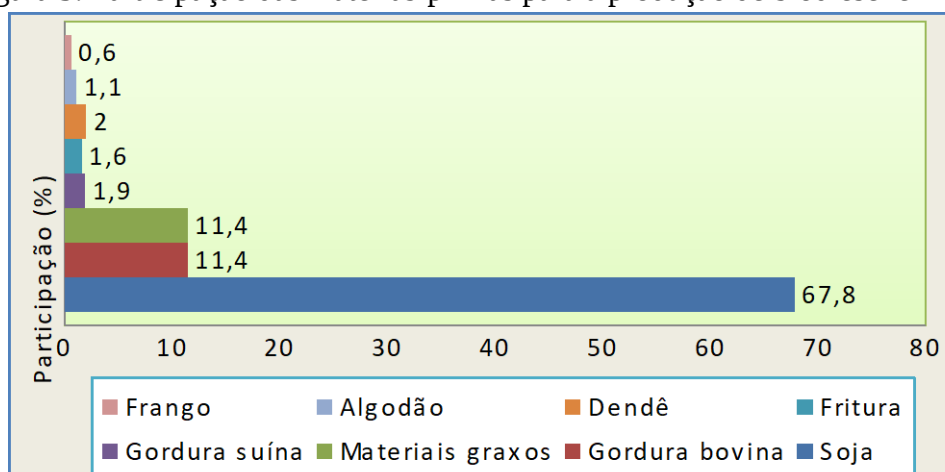
Apesar do crescimento da produção e o aumento da adição do biodiesel no diesel fóssil, também cresceu a importação líquida de diesel, embora menos que proporcional à participação do biodiesel (Tabela 6). Contudo, há potencial para aumento da participação do biodiesel devido à amplitude da biomassa disponível, às pesquisas em andamento e à capacidade ociosa nas usinas produtoras (EPE, 2020a).

Tabela 6: Produção e importação de diesel / Produção de biodiesel

Ano	Produção de diesel	Importação Líquida de diesel	Produção de biodiesel	Produção de diesel	Importação Líquida de diesel	Produção de biodiesel
	(m³)			(%)		
2008	41.134.038	4.272.609	1.167.128	88%	9%	3%
2009	42.898.667	1.505.482	1.608.448	93%	3%	3%
2010	41.429.263	7.461.713	2.386.399	81%	15%	5%
2011	43.388.313	8.223.058	2.672.760	80%	15%	5%
2012	45.504.004	7.178.583	2.717.483	82%	13%	5%
2013	49.539.186	9.253.367	2.917.488	80%	15%	5%
2014	49.675.057	10.338.797	3.422.210	78%	16%	5%
2015	49.457.609	6.172.222	3.937.269	83%	10%	7%
2016	45.369.807	7.086.011	3.801.339	81%	13%	7%
2017	40.581.202	12.268.465	4.291.294	71%	21%	8%
2018	41.880.465	10.221.057	5.350.036	73%	18%	9%
2019	40.914.849	12.407.590	5.923.868	69%	21%	10%

Fonte: EPE (2020).

Do biodiesel consumido em 2019, 3,7 bilhões de litros foram produzidos a partir do óleo de soja, o que equivale a um crescimento de 8% entre janeiro e dezembro de 2019 (ANP, 2019). A composição da biomassa como fonte geradora do biodiesel em 2019 foi: soja (67,8%), gordura bovina (18,6%), materiais graxos (11,4%), gordura suína (1,9%), fritura (1,6%), dendê (2%), algodão (1,1%), e frango (0,6%), conforme Figura 5.

Figura 5: Participação das matérias-primas para a produção de biodiesel em 2019

Fonte: EPE (2020).

O óleo de soja figurou como o insumo mais importante para a produção de biodiesel no ano 2019 (67,8% dos insumos), seguido pelo sebo bovino e outros materiais graxos. Essa constatação restabelece o desafio aos pesquisadores e às produtoras pela busca da diversificação das matérias primas geradoras do biodiesel.

Em 2019, o uso da biomassa brasileira contribuiu de forma decisiva na redução das emissões de GEE na atmosfera. Nos biocombustíveis líquidos, as emissões evitadas pelo uso de etanol e biodiesel, em comparação aos equivalentes fósseis (gasolina e diesel), somaram 69,6 MtCO₂ em 2019, e a bioeletricidade da cana também contribui para a redução das emissões de CO₂. Na geração desses três tipos de bioenergia, foram evitadas emissões totais de 72,3 MtCO₂ (EPE, 2020).

Tabela 7: Emissões evitadas com Biocombustíveis em 2019.

Biocombustível	Emissões evit. (MtCO_{2eq})
Hidratado	26,0
Anidro	27,1
Biodiesel	16,5
Bioeletricidade	2,8
Total	72,3

Fonte: EPE (2020).

5 PESQUISAS RECENTES SOBRE A BIOMASSA ENERGÉTICA

Foram encontrados nove dentre 240 estudos de 2018 e 2019 constantes da base de dados da Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), sobre o termo de busca “Biomassa energética” que se relacionam com o conteúdo deste artigo (Quadro 1).

Quadro 1: Estudos sobre Biomassa energética na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações de 2018 e 2019.

Autor/a(s), Título, Data e Origem	Resultados da Pesquisa
COSTA, Suzana Claudete. Briquetes a partir de resíduos de biomassa agrícola, 2019 (Dissertação – Unisul/SC)	Todos os espécimes desenvolvidos mostraram-se capazes de substituir fontes tradicionais de calor, como a lenha (7,12-10,47 MJ/kg), com melhor desempenho energético.

BARBOSA, Larissa de Souza Noel Simas. Modelagem, simulação e otimização de um difusor de biomassa, 2019 (Tese – USP).	Os testes foram realizados em um estágio de extração experimental, com água e, em seguida, com bagaço de cana, com medidores de condutividade e infravermelho. O aumento da variância do sinal era indicativo de um aumento da compactação do leito e de diminuição da sua permeabilidade.
NEVES, Henrique Bortone. Projeto de um gaseificador de bancada de leito fluidizado borbulhante para biomassa, 2019. (Dissertação – UNIFEI/MG)	Através da junção das Análises Termodinâmica e Hidrodinâmica, foi possível obter a geometria adequada do reator.
ORELLANA, Bruna Bárbara Maciel Amoras. Utilização de resíduos de biomassa do Distrito Federal para fins energéticos, 2019. (Tese – UNB)	Os resíduos <i>in natura</i> que apresentaram as características mais desejáveis para geração de energia foram: madeira de madeireira, madeira de construção civil, palha de milho e sabugo de milho. As quirelas de milho e de sorgo não apresentaram aptidão devido ao excesso de amido. Os resíduos que melhor se adaptaram em forma de <i>pellets</i> foram palhada de milho, feijão e sabugo, à exceção da madeira de madeireira.
ANTONIOLLI, Edílio Moacir. Desenvolvimento e construção de um queimador de biomassa automatizado com microcontrolador, 2019. (Dissertação – UTFPR)	O desenvolvimento de um protótipo de queimador direcionado a: alimentação automática gradual para o combustível; local adequado para a introdução do ar primário e secundário; mecanismo de controle para a regulação do excesso de ar; e manutenção dos gases de combustão no tempo necessário para a queima completa e deslocamento das cinzas.
ZANATA, Ana Cláudia. Obtenção de biomassa microalgal de <i>Chlorella vulgaris</i> tolerante a herbicidas, 2020, (Tese – UTFPR)	O estudo indicou uma tendência das pesquisas e a importância de pesquisas futuras na área de desenvolvimento, otimização e validação da avaliação de toxicidade por microalgas multiespécies em variados herbicidas.
CARDOSO, Fernando Henrique. Desempenho ambiental e energético da gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar como rota alternativa de produção de amônia, 2019 (Tese – USP)	O cenário, cuja produção de amônia é proveniente de syngas de gaseificador de Fluxo Arrastado de bagaço com ar, obteve o melhor desempenho ambiental e energético; Já o cenário com pior desempenho, se refere ao gás de síntese proveniente da gaseificação em Leito Fluidizado Circulante de palha a vapor. Pela análise com indicador único, em termos de procedência do syngas, o desempenho ambiental e energético é indiferente ao tipo de biomassa de cana associada a qualquer um dos dois gaseificadores, desde que o fluido gaseificante seja o ar.
CURTI, Cristina. Pré-tratamento de biomassa microalgácea utilizando enzimas hidrolíticas provenientes de isolados fúngicos, 2019 (Diss – UFES)	Através dos resultados, foi possível concluir que a escolha da atividade enzimática e da concentração dos extratos fúngicos podem ser utilizados como chaves para diminuir uma das desvantagens dos tratamentos biológicos, o tempo de hidrólise.
AMBROZIM, F. M. Estudo das Condições de Fermentação em Estado Sólido para Produção de Celulases Utilizando Biomassa de Cacau, 2019. (Dissertação – UFES)	A casca do cacau se mostrou promissora como substrato para produção de celulases por FES e a aeração forçada possibilitou a obtenção de atividades enzimáticas maiores, confirmando assim sua forte influência em processos de FES.

Fonte: Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD), do Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia (IBICT), 2020.

São cinco dissertações de mestrado e quatro teses de doutorado originadas das regiões Sudeste (SP, MG, ES), Sul (SC, PR) e DF, cujos objetos de pesquisa são briquetes, oleaginosas, bagaço e palha da cana de açúcar, resíduos agroindustriais, *pellets*, microalgas e o cacau. Os principais resultados dessas pesquisas são: novas fontes de calor nos briquetes; redução de barreiras para a extração de substâncias de diversas oleaginosas; caracterização de um gaseificador utilizando o bagaço da cana de açúcar; novas estruturas desejáveis para geração de energia dos resíduos agroindustriais; protótipo de um queimador para deslocamento e queima completa das cinzas; validação da toxicidade das microalgas; cenários para a produção da amônia do bagaço da cana de açúcar cujo fluído gaseificante seja o ar; a escolha da atividade enzimática e a concentração fúngica podem diminuir o tempo de hidrólise; e a casca do cacau como promissora para a produção de celulases.

As pesquisas demonstram a busca por melhor exploração de substâncias para geração de bioenergia, principalmente na forma de biocombustíveis de primeira, segunda, terceira e quarta gerações, demonstram alinhamento com as perspectivas de aumento da biomassa brasileira na geração de energia e com a busca por inovações nas rotas tecnológicas tradicionais: química, biológica e termoquímica.

Também foram acessados os 10 últimos volumes (132/janeiro a 141/outubro) de 2020 da revista *Biomass & Bioenergy* com o termo de busca “Biomassa energética” (Quadro 2). Foram encontrados 21 artigos sobre a geração de bioenergia, originados das universidades brasileiras das regiões Sul (PR, SC), Sudeste (SP, ES, MG), Norte (PA, AM), Nordeste (CE) e Centro Oeste (Goiás), e pesquisas com universidades da Inglaterra, Portugal e Itália.

Os objetos da biomassa mais pesquisados foram: a casca de arroz, as microalgas, açaí, palha e bagaço da cana de açúcar, resíduos agroindustriais do café, da madeira, do óleo de palma, o bagaço do caju, dejetos animais, lodo do esgoto, e sobre as cascas de coco e de cacau. Portanto, concentrados em substâncias lignocelulósicas, em sua maioria, para a produção de biocombustíveis (Quadro 2).

Quadro 2: Estudos sobre a biomassa energética publicados na revista científica *Biomass & Bioenergy* em 2020.

Autor, Título, Origem	Resultados da Pesquisa
VIEIRA <i>et al.</i> , Otimização dos parâmetros do processo de pirólise lenta usando um reator de leito fixo para produção de biochar da casca de arroz, (UNESP).	Avaliação energética mostrou que a Pirólise lenta da casca de arroz é tecnicamente viável.
OLIVEIRA <i>et al.</i> , Uma comparação das metodologias de colheita e secagem na composição de ácidos graxos da microalga verde <i>Scenedesmus obliquus</i> , (UFSC/UFG).	Se a biomassa for utilizada para extrair ácidos graxos poliinsaturados, a liofilização seria mais adequada. Por outro lado, se a finalidade da biomassa é produzir biodiesel, o melhor processo seria apenas congelar a biomassa.
SIQUEIRA <i>et al.</i> , Avanços atuais na produção local de celulase e aplicação na conversão de biomassa lignocelulósica em biocombustíveis: uma revisão, (UFPR).	Os avanços e inovações na produção local de enzimas celulolíticas usando biomassa vegetal e na aplicação das enzimas na conversão de lignocelulose em açúcares fermentáveis para a produção de biocombustíveis.
NAGATA <i>et al.</i> , Análise da condição isotérmica na secagem de resíduos de açaí para aplicação de biomassa (UNIFEI).	Os fenômenos de transferência de calor e massa não estão fortemente acoplados pelo motivo de o tempo de penetração adimensional ser muito menor que a unidade, indicando que o processo de secagem é limitado pela difusão de umidade.
SANTANA <i>et al.</i> , Otimização de um método organosolv usando glicerol com catalisadores de ferro para o pré-tratamento de aguapé, 2020 (UFS)	Os resultados contribuem para a compreensão da ação do ferro e de outros sais metálicos nas reações de pré-tratamento.
REIS FERREIRA <i>et al.</i> , Otimização do processo de pirólise oxidativa rápida da palha da cana-de-açúcar por análises de TGA e DSC (UFU).	Otimização do processo de pirólise oxidativa com menor consumo de energia e teor de oxigênio adequado.
SOARES, L.B. <i>et al.</i> , Investigação da resistência ao inibidor de hidrolisado hemicelulósico e estratégias de fermentação para superar a inibição em espécies não <i>saccharomyces</i> , (CTBE / CNPEM; UNICAMP; UFSC)	O comportamento das leveduras na presença de inibidores permite estabelecer estratégias de processo como decidir quando o uso de alta densidade celular é vantajoso ou selecionar uma metodologia para a adaptação evolutiva de cepas com o objetivo de maior desempenho na fermentação.
MONTROYA <i>et al.</i> , Melhorar a produção de hidrogênio a partir de resíduos de café por meio de pré-tratamento hidrotérmico, co-digestão e bioaugmentação microbiana de consórcio, (USP/SÃO CARLOS)	O pré-tratamento hidrotérmico e a co-digestão de resíduos melhoraram em até 7 vezes a produção de H ₂ quando comparado ao <i>in natura</i> desperdício.
PARANHOS & SILVA, Otimização estatística da produção de H ₂ , 1,3-propanodiol e ácido propiônico a partir de glicerol bruto usando um reator anaeróbio de leito fluidizado: efeitos de interação da concentração de substrato e tempo de retenção hidráulica, (USP/SÃO CARLOS).	As diferentes condições específicas determinadas para favorecer cada produto potencializam a fermentação mista e a existência de vias metabólicas concorrentes no AFBR.
MAZARELI <i>et al.</i> , Análise metagenômica de biomassa microbiana autóctone de resíduos de banana: projeto de triagem de fatores que afetam a produção de hidrogênio, (USP/SÃO CARLOS)	Foram identificados genes relacionados ao metabolismo de carboidratos, acidogênese e enzimas produtoras de H ₂ , como a frutocinase, glicose 6-fosfato desidrogenase, lactato desidrogenase e piruvato ferredoxina oxidoredutase.
BRACELOS <i>et al.</i> , Segregação de partículas	Recomenda-se o uso de misturas com 40% em peso

em reator de pirólise de leito de jorro: Misturas de areia-casca de coco e areia-casca de cacau, (UFES/UFTM)	de casca de coco e 75% em peso de casca de cacau nos testes iniciais de pirólise em reator CSB. As partículas da casca do cacau são mais adequadas à pirólise devido à sua maior fluidez.
LANGUER <i>et al.</i> , Informações sobre as características de pirólise de lodo de esgoto brasileiro com alto teor de cinzas usando análise termogravimétrica e experimentos em escala de bancada com GC-MS para avaliar seu potencial de bioenergia, (UFSC/UNIFESSPA/ UFTP)	O processo de pirólise do lodo de esgoto com alto teor de cinzas brasileiro pode ser aplicado para a produção do bio-óleo e do bio-gás de síntese - também agregando valor a esses resíduos, contribuindo para o estabelecimento de fonte renovável de bioenergia.
BRAR <i>et al.</i> , Hidrólise aprimorada do bagaço de cana tratado hidrotermicamente e auto-hidroliticamente e compreensão das mudanças estruturais que levam a uma melhor sacarificação, (GNDU-ÍNDIA/ USP SÃO CARLOS)	O bagaço pré-tratado hidrotermicamente após a hidrólise com a mistura enzimática rendeu níveis relativamente mais elevados de açúcares.
LAVIOLA DE OLIVEIRA, <i>et al.</i> , Avaliação do potencial brasileiro de geração de energia elétrica por meio de dejetos animais e esgoto, (UFV).	A energia total anual, correspondente a esses potenciais, era de 64,73 TWh e poderia atender 13,63% do consumo brasileiro em 2018. O reaproveitamento energético dos resíduos pode contribuir para uma maior segurança energética de uma nação.
LIMA <i>et al.</i> , Resíduos de extração de madeira de manejo florestal sustentável como combustíveis alternativos para sistemas de conversão termoquímica na Amazônia brasileira, (UFRA/UFLA)	<i>D. excelsa</i> os resíduos de madeira apresentaram a maior massa de CO ₂ eq fixada em 1 m ³ de resíduos de exploração (1.687 kg), significando que a utilização de 1 m ³ desses resíduos mitigaria a emissão de 1.687 kg de CO ₂ eq.
FILHO <i>et al.</i> , A análise multivariada como uma ferramenta para selecionar o pré-tratamento de poda de videira para o maior rendimento de hidrólise enzimática, (UFC/CEB-Portugal)	Um pré-tratamento menos severo e sem efeito adverso no rendimento de glicose com a vantagem de preservar as frações de biomassa não celulósica foi eficaz para a valorização da ameixa.
FERREIRA, <i>et al.</i> , Geração de biocombustíveis por pirólise lenta de cachos vazios de palmeiras: Otimização de variáveis de processo e caracterização de produtos físico-químicos, (UFPA)	Para a produção de gases, CO ₂ e CH ₄ são os principais compostos observados em condições otimizadas, sugerindo seu uso como matéria-prima na produção de energia.
BOREL <i>et al.</i> , Uma investigação sobre a pirólise do principal resíduo da indústria cervejeira, (UFLA/UFU/UFES)	Altas taxas de aquecimento suprimem reações de desidratação e favorecem a produção de bioóleo.
CESAR BARBOSA <i>et al.</i> , Otimização da produção de celooligossacarídeos por hidrólise enzimática de palha de cana pré-tratada hidrotermicamente usando enzimas celulolíticas e oxidativas, (UNESP/LNBR/UNICAMP)	A relação COS / glicose alcançada foi de 298,31, um aumento de 3314 e 2294 vezes sobre os coquetéis enzimáticos comerciais, respectivamente. Esses resultados abrem uma nova perspectiva em relação à produção de COS e sua aplicação industrial.
SERPA <i>et al.</i> , Extração e caracterização de ligninas do bagaço de caju obtidas por diferentes tratamentos, (UFC/ Universidade de Nápoles (ITÁLIA)	<i>O detalhamento das propriedades estruturais das ligninas extraídas do CAB possibilitará o uso eficiente dessas macromoléculas dentro do conceito de biorrefinaria, com impacto positivo na economia.</i>
TOMEI <i>et al.</i> , Avaliando a relação entre a expansão da cana-de-açúcar e o	Municípios com uma usina têm um desempenho relativamente melhor em termos de desenvolvimento

desenvolvimento humano no nível municipal: um estudo de caso em Mato Grosso do Sul, Brasil (University College London INGLATERRA/ USP)	humano do que aqueles sem, mas que os municípios com usinas já tiveram um desempenho relativamente melhor do que aqueles sem.
--	---

Fonte: *Biomass & Bioenergy* (2020).

Os principais resultados dessas pesquisas foram: a viabilidade técnica da pirólise lenta da casca de arroz; a conversão de lignocelulose em açúcares para a produção de biocombustíveis; a otimização do processo de pirólise oxidativa com menor consumo de energia; o pré-tratamento hidrotérmico e a co-digestão de resíduos melhoraram em até sete vezes a produção de H₂; a adequação das partículas da casca do cacau à pirólise devido à sua fluidez; o lodo de esgoto com alto teor de cinzas pode ser aplicado para a produção do bioóleo e do biogás de síntese; e o reaproveitamento energético dos resíduos de animais e esgoto pode contribuir para a segurança energética.

Nestes estudos, além das rotas convencionais: química, biológica e termoquímica, percebe-se também a aplicação de rotas híbridas na exploração das substâncias que possam contribuir na geração de bioenergia, concentradas na produção de biocombustíveis de segunda, e terceira e quarta gerações.

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Diante da amplitude da biomassa brasileira nas três formas: florestal, agrícola e residual urbana, sua exploração sustentável assumiu posição estratégica na matriz energética do país. Na oferta interna de energia, a participação de fontes renováveis é de 46,1%, nas quais se destacam a biomassa da cana, a hidráulica, a lenha e carvão vegetal e outras renováveis. E a participação de fontes não renováveis é de 53,9%. De 2018 para 2019, registra-se um crescimento das fontes renováveis (2,8%) superior ao crescimento das fontes não renováveis (0,2%).

O aumento da participação da biomassa na matriz energética brasileira, nas últimas décadas, permite que a intensidade de carbono na economia brasileira seja equivalente a 33% da economia chinesa, 56% da economia americana e 88% da economia da União Europeia. Em 2019, o uso da biomassa brasileira contribui de forma decisiva na redução das emissões de GEE na atmosfera. Pelo consumo do etanol, do biodiesel e da bioeletricidade, foram evitadas emissões totais de 72,3 MtCO₂.

O Brasil é o segundo maior produtor de etanol e está entre os três maiores produtores de biodiesel no mundo, além de explorar os subprodutos da cana e outras biomassas na geração de bioeletricidade. Em todas essas três bioenergias, as taxas de produção estão sucessivamente em crescimento.

Contudo, há potencial para aumento da participação da energia renovável devido à amplitude da biomassa disponível e sua aptidão agrônômica, às pesquisas em andamento e à capacidade “ociosa” produtiva nas usinas brasileiras.

Em todo o país, pesquisadores das áreas ligadas à biotecnologia envidam esforços interna e externamente na aplicação de tecnologias tradicionais e inovadoras que possam aprofundar a exploração sustentável da biomassa para a geração de bioenergia.

Esses esforços concentram-se na biomassa originada da agroindústria devido à pujança do setor sucroalcooleiro e à extensão industrial de sua cadeia produtiva. Entretanto, há relevantes resultados de pesquisa sobre as fontes de energia originadas da biomassa florestal e avançam os estudos sobre a energia dos resíduos urbanos e industriais.

Apesar da existência de marcos normativos como o PNPB (lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005.), o Renovabio (lei nº 13.576, de 26 de dezembro de 2017), o código florestal (lei nº 12.651, de 25 de maio de 2012), a política nacional dos recursos hídricos (lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997) e a política nacional dos resíduos sólidos (lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010), o potencial energético da biomassa brasileira requer um marco normativo convergente do ponto de vista institucional e cooperativo às áreas de pesquisa da biotecnologia para o aumento de sua participação na geração de energia renovável.

7 REFERÊNCIAS

AMBROZIM, F. M. **Estudo das Condições de Fermentação em Estado Sólido para Produção de Celulases Utilizando Biomassa de Cacau**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química), Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória: 2019. Disponível em < <https://bdtd.ibict.br/vufind/> > Acesso: em 15 set. 2020.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Biodiesel**. Rio de Janeiro: 2020. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/biocombustiveis/biodiesel> > Acesso em: 16 set. 2020.

_____. **Informações de Mercado - Biodiesel**. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Rio de Janeiro: 2020(a). Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-biocombustiveis/biodiesel/informacoes-de-mercado> Acesso em: 10 set. 2020.

ANTONIOLLI, Edilio Moacir. **Desenvolvimento e construção de um queimador de biomassa automatizado com microcontrolador**. Dissertação (Mestrado em Tecnologias Computacionais para o Agronegócio) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira: 2019. Disponível em: < <https://bdtd.ibict.br/vufind/>> Acesso em: 17 set. 2020.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 3. ed. Brasília: 2008. Disponível em: < <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/atlas3ed.pdf>> Acesso em: 08 set. 2020.

_____. **Relatório Anual ANEEL 2002**. Brasília: 2002. Disponível em: < www.aneel.gov.br> Acesso em: 07 set. 2020.

BARBOSA, Larrisa de Souza Noel Simas. **Modelagem, simulação e otimização de um difusor de biomassa**. Tese (Doutorado em Bioenergia), Universidade de São Paulo – USP), São Paulo: 2019. Disponível em < <https://bdtd.ibict.br/vufind/>> Acesso em: 17 set. 2020.

BARCELOS, K. M.; ALMEIDA, P. S.; ARAUJO, M. S.; XAVIER, T. P.; SANTOS, K. G.; BARCELOS, M. S.; LLIRA, T. S. Particle segregation in spouted bed pyrolysis reactor: Sand-coconut shell and sand-cocoa shell mixtures. **Biomass and Bioenergy**, v. 138, 2020. Disponível em < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 02 set. 2020.

BARDIN, Laurence. **Análise de Conteúdo**. Edições 70: São Paulo: 2011

BOREL, Lidja D. M. S.; FILHO, Argileu M. Reis; XAVIER, Tiago P.; LIRA, Taisa S.; BARROZO, A. S.; An investigation on the pyrolysis of the main residue of the brewing industry. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

BRAR, Kamalpreet Kaur; ESPÍRITO SANTO, Melissa C.; PELEGRINI, Vanessa O. A.; Azevedo, Eduardo R.; GUIMARÃES, Francisco E. C.; POLIKARPOV, Igor; CHADHA, Bhupinder Singh. Enhanced hydrolysis of hydrothermally and autohydrolytically treated sugarcane bagasse and understanding the structural changes leading to improved saccharification. **Biomass and Bioenergy**, v. 139, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em 20 set. 2020.

CARDOSO, Bruno Monteiro. **Uso da Biomassa como Alternativa Energética**. UFRJ/ Escola Politécnica. Rio de Janeiro: (2012). Disponível em: < <http://www.poli.ufrj.br/>> . Acesso em: 04 set. 2020.

CARDOSO, Fernando Henrique. **Desempenho ambiental e energético da gaseificação de biomassa de cana-de-açúcar como rota alternativa de produção de amônia**. Dissertação (Escola Politécnica) Universidade de São Paulo – USP, São Paulo: 2019. Disponível em: < <https://bdtd.ibict.br/vufind/>> Acesso em: 17 set. 2020.

CESAR BARBOSA, Fernando; KENDRICK, Emanuele; BRENELLI, Livia Beatriz; Arruda, Henrique Silvano; PASTORE, Glaucia Maria; RABELO, Sarita Cândida; Damásio, André; FRANCO, Telma Teixeira; LEAK, David; GOLDBECK, Rosana. Optimization of cello-

oligosaccharides production by enzymatic hydrolysis of hydrothermally pretreated sugarcane straw using cellulolytic and oxidative enzymes. **Biomass and Bioenergy**, vol 141, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues> > Acesso em: 20 set. 2020.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Acompanhamento da Safra Brasileira da Cana de Açúcar safra 2019/2020**. Brasília: 2020. Disponível em: < <file:///C:/Users/profe/Downloads/CanaZ4oZlevantamento-5.pdf> > Acesso em 05 set. 2020.

CNPE. Conselho Nacional de Política Energética. **Resolução CNPE de 29/10/2018. Dispõe sobre a evolução da adição obrigatória de biodiesel ao óleo diesel vendido ao consumidor final, em qualquer parte do território nacional**. Brasília: 2018. Disponível em: < https://www.normasbrasil.com.br/norma/resolucao-16-2018_369098.html >. Acesso em: 07 set. 2020.

COSTA, Suzana Claudete. **Briquetes a partir de resíduos de biomassa agrícola**. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais), Universidade do Sul de Santa Catarina, Florianópolis: 2019. Disponível em: < <https://bdtd.ibict.br/vufind/> > Acesso em: 17 set. 2020.

CURTI, Cristina. **Pré-tratamento de biomassa microalgácea utilizando enzimas hidrolíticas provenientes de isolados fúngicos**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória: (2019). Disponível em: < <https://bdtd.ibict.br/vufind/> > Acesso em: 17 set. 2020.

EPE. Empresa de Pesquisa Energética. **Balanco Energético Nacional. Relatório Síntese / ano base 2019**. Rio de Janeiro: 2020. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020> > . Acesso em: 03 set. 2020.

_____. **Análise de Conjuntura dos Biocombustíveis ano 2019**. Rio de Janeiro: 2020(a). Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/imprensa/noticias/epe-divulga-analise-de-conjuntura-de-biocombustiveis-ano-base-2019>. Acesso em: 06 set. 2020.

_____. **Balanco Energético Nacional 2015: Ano base 2014**. Rio de Janeiro: 2015. Disponível em: < <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/Balanco-Energetico-Nacional-2015> > Acesso em: 06 set. 2020.

FERREIRA, M. F. P.; OLIVEIRA, B. F. H.; PINHEIRO, W. P. S.; CORREA, N. F.; FRANÇA, L. F.; RIBEIRO, N. F. P. .Generation of biofuels by slow pyrolysis of palm empty fruit bunches: Optimization of process variables and characterization of physical-chemical products. **Biomass and Bioenergy**. v. 138, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues> > Acesso em: 16 set. 2020.

FILHO, Elenilson G. Alves; MACIEL, Tatiane C.; GUDINA, Eduardo; MIGUEL, Emílio C.; RODRIGUES, Lígia R.; RODRIGUES, Sueli. Multivariate analysis as a tool for selecting the vine pruning pretreatment towards the highest enzymatic hydrolysis yield. **Biomass and Bioenergy**, vol 140, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues> > Acesso em: 20 set. 2020.

FRANCO, L; SOUZA, E. **Nova moeda no campo**. Revista Globo Rural, São Paulo, v. 299, set. 2010. Disponível em: <<http://revistagloborural.globo.com/Revista/Common/0,,ERT168364-18282,00.html>> Acesso em: 07 set. 2020.

HAIR JUNIOR; Joseph F.; BABIN, Barry; MONEY, Arthur H.; SAMOUEL, Phillip. **Fundamentos de métodos de pesquisa em administração**. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HINRICHS, R. A; KLEINBACH, M; REIS, L. B. dos. **Energia e meio ambiente**. 4. ed. São Paulo: Cengage Learning, 2010

LANGUER, Mariana Pires; BATISTELLA, Luciane; ALVES, José Luiz Francisco; SILVA, Jean Constantino Gomes; FILHO, Valdemar Francisco da Silva; DOMENICO, Michele di; MOREIRA, Regina de Fátima Peralta Muniz; JOSÉ, Humberto Jorge. Insights into pyrolysis characteristics of Brazilian high-ash sewage sludges using thermogravimetric analysis and bench-scale experiments with GC-MS to evaluate their bioenergy potential. **Biomass and Bioenergy**, v. 138, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

LAVIOLA DE OLIVEIRA, A. C.; MILAGRES, R. S.; ORLANDO JUNIOR, W. A.; RENATO, N. S. **Avaliação do potencial brasileiro de geração de energia elétrica por meio de dejetos animais e esgoto**, v. 139, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 23 set. 2020.

LIMA, Michael Douglas Roque; PATRÍCIO, Evelim Poliana Santos; BARROS JUNIOR, Udson de Oliveira; ASSIS, Maíra Reis; XAVIER, Carolina Nogueira; BUFALINO, Lina; TRUGILHO, Paulo Fernando; GERARDHI HEIN, Paulo Ricardo; PROTÁSIO, Thiago de Paula. Logging wastes from sustainable forest management as alternative fuels for thermochemical conversion systems in Brazilian Amazon. **Biomass and Bioenergy**, v. 140, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

LOPES Kamila; MARTINS, Eliane Maria; MIRANDA, Ronaldo Leão de. **A Potencialidade Energética da Biomassa no Brasil**. Revista Desenvolvimento Socioeconômico em Debate, v.5, n.1, p.94-106, 2019. Disponível em: <http://periodicos.unesc.net/RDSD/issue/view/215> Acesso em: 04 set. 2020.

MARAFON, Anderson Carlos; SANTIAGO, Antonio Dias; AMARAL, André Felipe Câmara; BIERHALS, Adriana Neutzling; PAIVA, Hugo Leôncio; GUIMARÃES, Victor dos Santos. **Uso da Biomassa para a Geração de Energia**. Embrapa Tabuleiros Costeiros. Aracaju: 2016. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1059450>>. Acesso em: 05 set. 2020.

MAZAREL, Raissa Cristina da Silva; MONTROYA, Alejandra Carolina Vila; DELFORNO, Tiago Palladino; CENTURION, Victor Borin; OLIVEIRA, Valéria Maia; SILVA, Edson Luiz; VERESCHE, Maria Bernadete Amâncio. Metagenomic analysis of autochthonous microbial biomass from banana waste: Screening design of factors that affect hydrogen

production. **Biomass and Bioenergy**, vol 138, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília: 1982. Disponível em: <https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/Public/20/046/20046693.pdf>. Acesso em: 10 set 2020.

MONTOYA, Alejandra Carolina Vila; MAZAREL, Raissa Cristina da Silva; SILVA, Edson Luiz; VERESCHE, Maria Bernadete Amâncio. Improving the hydrogen production from coffee waste through hydrothermal pretreatment, co-digestion and microbial consortium bioaugmentation. **Biomass and Bioenergy**, vol 137, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

NAGATA, Gabriele A.; SOUTO, Bernardo A.; PERAZZINI, Maisa T. B.; PERAZZINI, Hugo. Analysis of the isothermal condition in drying of acai berry residues for biomass application. **Biomass and Bioenergy**, v. 133, (2020). Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

NEVES, Henrique Bortone. **Projeto de um gaseificador de bancada de leito fluidizado borbulhante para biomassa**. 152 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá: 2019. Disponível em: < <https://bdtd.ibict.br/vufind/>> Acesso em: 17 set. 2020.

OLIVEIRA, Carlos Yure Barbosa; VIEGAS, Thayna Lye; LOPES, Rafael Garcia; CELLA, Herculano; MENEZES, Rafael Silva; SOARES, Aline Terra; FILHO, Nelson Roberto Antoniosi; DERNER, Roberto Bianchini. A comparison of harvesting and drying methodologies on fatty acids composition of the green microalga *Scenedesmus obliquus*. **Biomass and Bioenergy**, v. 132, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

ORELLANA, Bruna Bárbara Maciel Amoras. **Utilização de resíduos de biomassa do Distrito Federal para fins energéticos**. Tese (Doutorado em Ciências Florestais), Universidade de Brasília, Brasília: 2019. Disponível em: < <https://bdtd.ibict.br/vufind/>> Acesso em :17 set. 2020.

PARANHOS, Aline Gomes de Oliveira; SILVA, Edson Luiz. Statistical optimization of H₂, 1,3-propanediol and propionic acid production from crude glycerol using an anaerobic fluidized bed reactor: Interaction effects of substrate concentration and hydraulic retention time. **Biomass and Bioenergy**, v. 138, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

REIS FERREIRA, Rondinele Alberto; MEIRELES, Carla da Silva; ASSUNÇÃO, Rosa Maria do Nascimento; BARROZO, Marcos Antonio; SOARES, Ricardo Reis. Optimization of the oxidative fast pyrolysis process of sugarcane straw by TGA and DSC analyses.

Biomass and Bioenergy, v. 134, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 20 set. 2020.

RUIZ, E. T. N. F. **Análise de Investimento em projetos Greenfield de Bioenergia**. Alínea. Campinas: 2015.

SANTANA Joselaine Carvalho; ABUD, Ana Karla Souza; WISNIEWSKI Jr., Alberto; NAVICKIENE, Sandro; ROMÃO, Luciene Pimenta Cruz. Optimization of an organosolv method using glycerol with iron catalysts for the pretreatment of water hyacinth. **Biomass and Bioenergy**, v. 133, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 16 set. 2020.

SERPA Juliana de França; SIIVA, Juciane de Souza; REIS, Carla Luzia Borges; MICOLI, Luca; SILVA, Lorena Maria Alexandre; CANUTO, Kirley Marques; MACEDO, André Cassimiro; ROCHA, Maria Valdez Pontes. Extraction and characterization of lignins from cashew apple bagasse obtained by different treatments. **Biomass and Bioenergy**, v. 141, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 12 set. 2020.

SEYE, O. **Análise de ciclo de vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schaum)**. 2003. 167 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, SP. Disponível em: <http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/263355/1/Seye_Omar_D.pdf> Acesso em: 16 set. 2020.

SIQUEIRA Joice Gueiros Wanderley; RODRIGUES, Cristine; VANDENBERGHE, Luciana Porto de Souza; WOICIECHOWSKI, Adenise Lorenci; SOCCOL, Carlos Ricardo. Current advances in on-site cellulase production and application on lignocellulosic biomass conversion to biofuels: A review. **Biomass and Bioenergy**, v. 132, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 06 set. 2020.

SOARES, L.B.; BONAN, C. I. D. G.; BIAZI, L. E.; DIONÍSIO, S. R.; BONATELLI, N. L.; ANDRADE, A. L. D.; RENZANO, E. C.; COSTA, A. C.; IENCZAK, J. L. Investigation of hemicellulosic hydrolysate inhibitor resistance and fermentation strategies to overcome inhibition in non-saccharomyces species. **Biomass and Bioenergy**, v. 137, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 15 set. 2020.

TOMEI, Julia; OLIVEIRA, Lucas Lyrio; RIBEIRO, Celma de Oliveira; LEE HO, Linda; MONTROYA, Luiz Guillermo. Assessing the relationship between sugarcane expansion and human development at the municipal level: A case study of Mato Grosso do Sul, Brazil. **Biomass and Bioenergy**, v. 141, 2020. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 03 set. 2020.

VERGARA, Sylvia Constant. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração**. Atlas. São Paulo: 2013.

VIEIRA, Fábio Roberto; LUNA, Carlos M. Romero; ARCE, Greta L. A. F.; ÁVILA, Ivonete. Optimization of slow pyrolysis process parameters using a fixed bed reactor for biochar yield from rice husk. **Biomass and Bioenergy**, v. 132, 2020. Disponível em: < <https://www.sciencedirect.com/journal/biomass-and-bioenergy/issues>> Acesso em: 03 set. 2020.

ZANATA, Ana Claudia. **Obtenção de biomassa microalgal de *Chlorella vulgaris* tolerante a herbicidas**. Dissertação (Mestrado em Biotecnologia) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa: 2020. Disponível em: < <https://bdtd.ibict.br/vufind/>> Acesso em: 17 set. 2020.