

## Scientific Electronic Archives

Issue ID: Sci. Elec. Arch. Vol. 13 (8)

August 2020

DOI: <http://dx.doi.org/10.36560/13920201040>

Article link

<http://sea.ufr.edu.br/index.php?journal=SEA&page=article&op=view&path%5B%5D=1040&path%5B%5D=pdf>

Included in DOAJ, AGRIS, Latindex, Journal TOCs, CORE, Discoursio Open Science, Science Gate, GFAR, CIARDRING, Academic Journals Database and NTHRYS Technologies, Portal de Periódicos CAPES.



## Biomassa como recurso sustentável para geração de energia

### Biomass as a sustainable energy generation resource

A. A. Areias, J. C. Cruz Júnior, F. M. Yamaji

Universidade Federal de São Carlos

Author for correspondence: [adriana.areias@yahoo.com](mailto:adriana.areias@yahoo.com)

**Resumo:** Existe uma tendência global na utilização de biomassa como fonte de energia, o que contribui para a redução da poluição ambiental, para a inserção social e redução de custos produtivos. O objetivo desta revisão foi apresentar uma visão geral sobre o conceito de energias renováveis, a utilização de biomassa como fonte de energia renovável e sustentável e suas aplicabilidades. Neste capítulo, foi realizado um estudo exploratório, por meio de uma pesquisa bibliográfica. Compreende-se que a utilização de biomassa tem um grande potencial no Brasil como fonte de energia, por conta da disponibilidade e diversidade de recursos.

**Palavras-chave:** Bioenergia, Fonte renovável, Sustentabilidade, Propriedades energéticas.

**Abstract:** There is a global trend in the use of biomass as a source of energy, which contributes to the reduction of environmental pollution, social inclusion and reduction of productive costs. The aim of this review was to provide an overview of the concept of renewable energy, the use of biomass as a renewable and sustainable energy source and its applicability. In this chapter, an exploratory study was accomplished, through a bibliographical research. It is understood that the use of biomass has great potential in Brazil as a source of energy, due to the availability and diversity of resources.

**Keywords:** Bioenergy, Renewable source, Sustainability, Energetic properties.

### Introdução

As principais fontes de energia utilizadas no mundo ainda são originadas de recursos não renováveis, como o petróleo. A utilização de fontes não renováveis por sua vez polui o meio ambiente, gera gases de efeito estufa e acaba com as reservas naturais.

O uso sustentável das fontes renováveis de energia reduz os impactos ambientais, por meio da diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE), promove o desenvolvimento econômico, eficiência no uso de recursos e inserção social (GAETE-MORALES *et al.*, 2019; OIT, 2018).

Segundo Vichi e Mello (2004), as fontes de energia são classificadas como primárias e secundárias, sendo as primárias fornecidas diretamente pela natureza e podem ser de uso comercial - como no caso do carvão mineral, do petróleo e do gás natural, em que são objetos de transação monetária; e não comerciais, que são consideradas gratuitas, como a energia solar. A

energia secundária é oriunda da energia primária, após sofrer transformações para que o homem utilize de suas funções. São exemplos: óleo diesel, gasolina, coque de carvão, eletricidade, etc. (GOLDEMBERG; LUCON, 2008; VICHI; MELLO, 2004).

Conforme Goldemberg e Lucon (2008), para que a fonte de energia seja considerada renovável, ela deve ser reposta ao meio ambiente em um curto período de tempo, de modo que seu consumo pelo homem não a tenha esgotado. São exemplos de energias renováveis: energia solar, energia eólica, biomassa, energia maremotriz,

energia geotermal e energia potencial hidráulica. No caso das energias não renováveis, não existe uma compatibilidade entre sua reposição ao meio ambiente e o seu consumo pelo homem. São exemplos: carvão mineral, petróleo, gás natural, energia nuclear e outras fontes de origem fóssil.

Para se obter desenvolvimento econômico é de suma importância a disponibilidade de energia para abastecer as indústrias e demais demandas que dependem deste insumo. Entretanto, é necessário entender que, para ocorrer o desenvolvimento, deve-se levar em consideração os impactos ambientais e sociais ao se optar pela fonte de energia que irá se utilizar. Desta forma, busca-se o desenvolvimento sustentável que é o desenvolvimento levando em consideração as esferas sociais e ambientais e não simplesmente a busca pelo crescimento econômico em si.

O Brasil, em comparação com outros países, se encontra em uma posição favorável quanto à disponibilidade de recursos para serem utilizados como fontes de energias renováveis. A fonte de energia elétrica mais utilizada sempre foi de origem hidráulica, mas deve-se frisar o potencial de geração por outras fontes de energia como a biomassa, a eólica e a solar.

Conforme Freitas e Filho (2013), a geração de energia a partir de biomassa teve um aumento de 227% entre os anos de 2005 e 2013, sendo a madeira responsável por 3,6% desse valor e os resíduos agrícolas por 96,4%. Neste mesmo período, a produção de madeira para abastecer as usinas para geração de energia aumentou 89%. Ainda conforme os autores, neste período houve uma queda do consumo de lenha para uso doméstico e houve um aumento de 97% do número de empresas que utilizam deste insumo, tendo destaque os segmentos de cerâmica, alimentos e bebidas e de papel e celulose. Dentre as biomassas que mais tiveram um aumento na participação da matriz energética entre 2005 e 2013, pode-se destacar o licor negro (87%), a casca de arroz (467%), o bagaço de cana (279%) e o biogás 271%. Deve-se frisar que a casca de arroz e o bagaço de

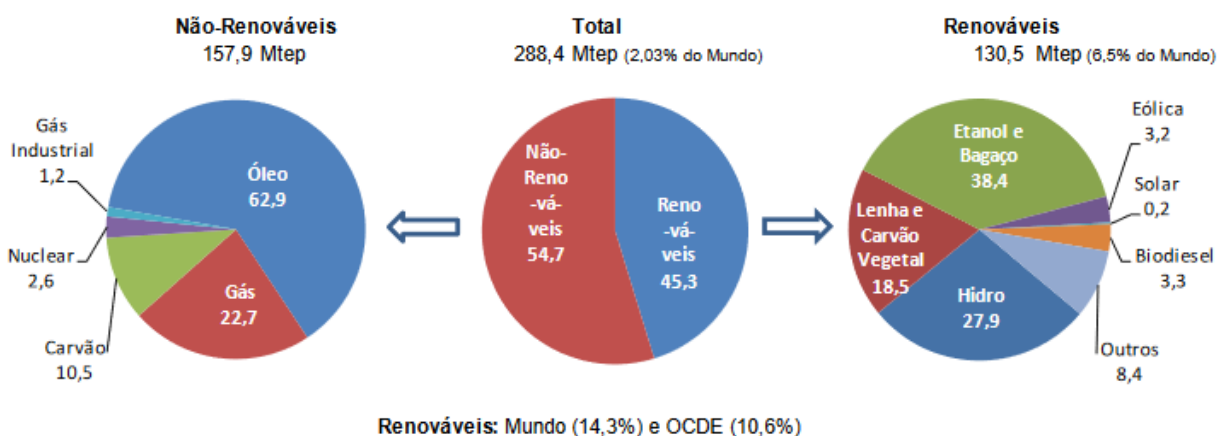
cana são utilizados, em sua maior parte, para geração de energia em suas próprias indústrias.

O objetivo deste capítulo foi fazer uma discussão sobre o uso de biomassa como fonte de energia renovável. Primeiramente, abordou-se o tema da sustentabilidade das energias renováveis por meio da análise de três pilares: ambiental, social e econômico. Em seguida, foram apresentadas diferentes fontes de biomassa para geração de energia.

#### Sustentabilidade e Energias Renováveis Contribuição ambiental do uso de energias renováveis

A dependência de combustíveis fósseis para compor a matriz energética além de não ser sustentável, ocasiona diversas limitações, tais como: exaustão dos combustíveis, já que suas reservas são limitadas; coloca em risco a segurança energética em decorrência de disputas geopolíticas e conflitos militares; flutuações de preços e degradação da saúde e de condições ambientais, como poluição atmosférica, chuva ácida e aquecimento global (GOLDEMBERG, 2015; OWUSU; ASUMADU-SARKODIE, 2016). A utilização de fontes renováveis de energia tem um forte papel na diminuição das emissões globais de gases de efeito estufa (GEE) na geração de energia elétrica, que chega a ser responsável por aproximadamente 25% das emissões (GAETEMORALES *et al.*, 2019).

Na Figura 1, percebe-se que o Brasil, em comparação com outros países (14,3%) e com os países da OCDE (10,6%), utiliza mais energias renováveis em sua matriz energética (45,3%), o que denota uma vantagem comparativa no que se refere à menor dependência de combustíveis fósseis para geração de energia.



**Figura 1.** Oferta interna de energia, Brasil – 2018 (%). Onde: Mtep = Milhões de Tonelada Equivalente de Petróleo. Fonte: MME (2019)

Em vista disso, em nível global, o Brasil emite menos GEE em decorrência da utilização de energias renováveis. Conforme o Balanço Energético Nacional - BEN (EPE, 2019), em comparação com a China e EUA, o Brasil emite, em média, 7,5 vezes menos dióxido de carbono em

relação a produção e consumo per capita de energia.

#### Contribuição social do uso de energias renováveis

A sustentabilidade ambiental, quando estimulada por meio de instrumentos institucionais e

regulatórios, promove o crescimento sustentável, baixas emissões de carbono, uso eficiente de recursos e trabalho digno (OIT, 2018).

As energias renováveis causam danos mínimos ao meio ambiente e podem ser utilizadas de diversas formas, desde que sejam utilizadas tecnologias apropriadas. Para Coelho (2012), são os países subdesenvolvidos e em desenvolvimento os que mais demandam desta fonte de energia, principalmente para aquecer os alimentos. Nestes países, a biomassa se torna uma alternativa para a diminuição das importações de combustíveis fósseis, além do aumento da oferta de emprego em decorrência do incremento das tecnologias ambientais.

Em 2016, o setor de energias renováveis empregou mais de 9,8 milhões de pessoas no mundo, conforme a Agência Internacional para as Energias Renováveis - IRENA (2017), sendo a biomassa sólida e o biogás responsáveis por 1,2 milhões de empregos. Nota-se na Tabela 1 que, entre as fontes de energias renováveis analisadas, as que geraram mais emprego em 2016 foram a energia solar fotovoltaica, biocombustíveis líquidos e hidrelétrica.

**Tabela 1.** Empregos em energia renovável por fonte/tecnologia, em mil unidades, Mundo - 2016

| Fonte/ Tecnologia                  | Empregos (em mil) |
|------------------------------------|-------------------|
| Solar Fotovoltaica                 | 3.095             |
| Biocombustíveis Líquidos           | 1.724             |
| Hidrelétrica (Grande porte)        | 1.519             |
| Energia Eólica                     | 1.155             |
| Aquecimento solar/resfriamento     | 828               |
| Biomassa sólida                    | 723               |
| Biogás                             | 333               |
| Pequena Central Hidrelétrica (PCH) | 211               |
| Energia Geotérmica                 | 182               |
| Energia Solar Concentrada          | 23                |
| Total                              | 9.793             |

Fonte: IRENA (2017).

Conforme a IRENA (2017), a maior parte do emprego gerado no Brasil é oriundo da produção de biocombustíveis líquidos. Apesar do aumento da produção de etanol ter sido de 8% em 2015, houve uma retração no número de empregos em 10%, em decorrência da mecanização da colheita e do processamento.

### *Contribuição econômica do uso de energias renováveis*

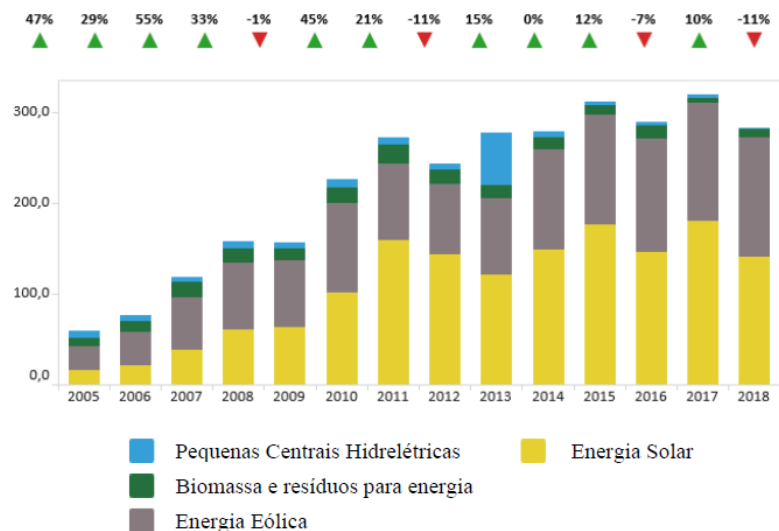
A expansão do consumo de energia tem uma forte correlação com o crescimento econômico, por isso o setor de energia é visto como um fator chave para a promoção do desenvolvimento econômico. Os instrumentos de política pública podem favorecer esse processo por meio do incentivo à inovação das tecnologias vinculadas às energias renováveis (OWUSU; ASUMADU-SARKODIE, 2016).

No setor de energias renováveis, são utilizados muitos instrumentos de regulação, como as tarifas especiais, as quotas, sistema de certificação e os leilões, o que também envolve os incentivos fiscais, como os impostos sobre combustíveis, os benefícios fiscais sobre importação/exportação e a taxa de carbono. Além disso, são aplicadas políticas socioeconômicas a fim de trazer benefícios por meio do acesso rural às fontes de energias renováveis e para atender necessidades locais e sociais (IRENA, 2019).

Entre as medidas que estão sendo implementadas no Brasil, para aumentar a eficiência energética, conforme o Plano Paulista de Energia – PPE 2020 (SEESP, 2012), podem-se destacar o aumento da segurança energética, a utilização do gás da Bacia de Santos e da biomassa de cana-de-açúcar, a substituição de derivados de petróleo nos sistemas de transportes de regiões metropolitanas, a produção de energia elétrica a partir da utilização de biomassa e a utilização do gás natural para produção termelétrica.

Segundo Gaete-Morales *et al.* (2019), as energias renováveis são principalmente intensivas em capital, se opondo às tecnologias aplicadas aos combustíveis fósseis, cujos custos operacionais e com combustíveis são mais elevados. Deste modo, sendo os custos variáveis das energias renováveis próximos a zero, elas possibilitam reduzir os custos marginais do sistema, porém com desincentivo ao investimento. A fim de estimular os investimentos, os autores citam como exemplo o caso de alguns países da América do Sul, que incentivaram contratos de longo prazo e mercados de curto prazo para o comércio de energia, de modo a garantir a estabilidade do preço ao longo do tempo.

Percebe-se na Figura 2 que existe uma tendência global no aumento do investimento para as quatro fontes de energia analisadas, com destaque para a energia solar e eólica.



**Figura 2.** Tendências globais no investimento em energia renovável (bilhões de USD), 2005-2018. Fonte: IRENA (2019).

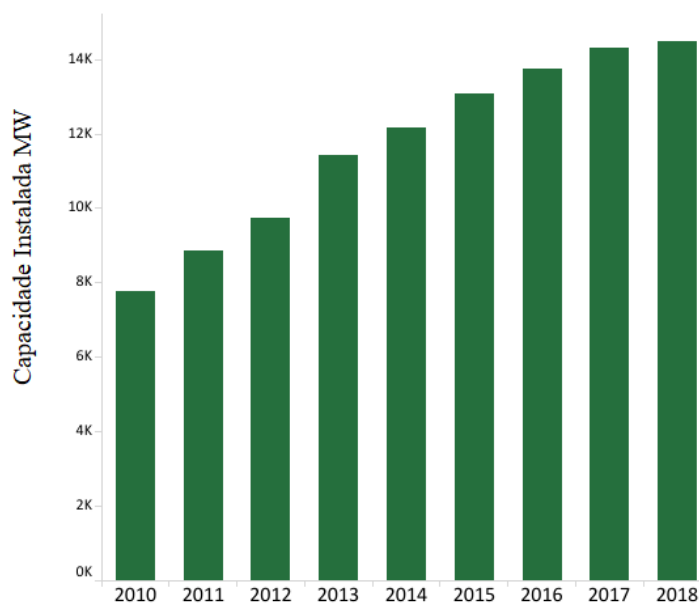
*Utilização de Biomassa como fonte de energia renovável*

A biomassa é um biocombustível composto por matérias orgânicas de origem florestal, agrícola e de rejeitos urbanos e industriais e pode ser transformada em energia mecânica, elétrica e térmica. Em relação a sua utilização, ela pode ser utilizada na forma líquida, sólida e gasosa. Entre os biocombustíveis mais utilizados, podem-se destacar: as oleaginosas, biomassa lignocelulósica, resíduos sólidos e algas (RUAN *et al.*, 2019).

Conforme Coelho (2012), a biomassa pode ser aproveitada por meio da combustão direta, por meio de processos termoquímicos (gaseificação, pirólise e liquefação) ou por meio de processos

biológicos (digestão e fermentação anaeróbica). Entre as tecnologias mais utilizadas em escala comercial para converter a biomassa em energia, podem-se destacar a cogeração, fermentação, combustão direta, digestão anaeróbica, entre outras.

A biomassa destinada para geração de energia tem um grande potencial para atender a demanda crescente de países populosos, como o Brasil, Índia e China. Nota-se na Figura 3 uma tendência de crescimento da capacidade instalada a partir do uso de biocombustível sólido no Brasil, com um crescimento acelerado a partir de 2013.



**Figura 3.** Tendências para a capacidade instalada de energia renovável a partir de biomassa sólida (MW) – Brasil, 2010-2018. Fonte: IRENA (2019).

### Biomassa florestal

Segundo Carneiro *et al.* (2013), a biomassa florestal para uso energético se divide em produção de carvão vegetal e de lenha. Para a queima direta, no caso da lenha, é recomendável utilizar madeiras com maior poder calorífico, já que obterá maior rendimento energético e também madeiras com maior densidade, por estar correlacionada com a produção de massa seca.

Para Fisher *et al.* (2017), no sistema de plantio, as mudas devem estabelecer sistemas radiculares, competir com a vegetação e estresses ambientais locais, como calor, seca, praga de insetos, etc. Além disso, o cuidado inicial para acabar com as ervas daninhas é um fator determinante para o sucesso do plantio, para o crescimento rápido e alta produção de biomassa. Estes fatores determinam quais espécies são mais adequadas para implantação e comercialização em escala.

Conforme Teixeira *et al.* (2016), a biomassa florestal utilizada para produção de bioenergia e biocombustíveis é caracterizada por ser de rápido crescimento e de curta rotação. Para os autores, o potencial energético das florestas irá depender das propriedades físicas, químicas da madeira, como o teor de lignina, o teor de celulose e o poder calorífico. Tais propriedades são influenciadas principalmente pelo espaçamento utilizado no plantio, já que a capacidade de absorção dos nutrientes pelas árvores pode estar comprometida em espaçamentos menores. Além disso, deve-se levar em consideração a fertilidade do solo e os custos de produção.

Todos estes fatores irão determinar a idade de corte, a taxa de crescimento, quais serão os métodos utilizados para o plantio, manejo e colheita, assim como a qualidade da madeira. Para Barrichelo e Müller (2005), o eucalipto é amplamente comercializado no mercado justamente por atender a estes fatores. Além disso, há diversas espécies de eucalipto que permitem atender demandas distintas, por se adaptarem a diversos climas, solos e por serem de fácil propagação.

O conceito de floresta de curta rotação está sendo amplamente utilizado para o cultivo do gênero *Eucalyptus* sp., por ter alta produtividade e ser muito adaptável. Mediante a produtividade do plantio, é feita a escolha da área que será reflorestada e a obtenção de créditos de carbono. Para isso, é levado em consideração o volume de madeira produzida, que também interfere na quantidade de carbono fixado (TEIXEIRA *et al.*, 2016).

Conforme Penteadó, Pichelli e Soares (2018), as espécies de eucalipto mais plantadas no Brasil são: *E. grandis*, *E. saligna*, *E. urophylla*, *E. viminalis*, híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla*, *E. dunnii* e *E. benthamii*, sendo estes dois últimos produzidos na região Sul do país.

Barrichelo e Müller (2005) recomendam, para a produção de lenha e carvão, as seguintes

espécies de eucalipto: *E. brassiana*, *E. camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. crebra*, *E. deglupta*, *E. exserta*, *E. globulus*, *E. grandis*, *E. maculata*, *E. paniculata*, *E. pellita*, *E. pilularis*, *E. saligna*, *E. tereticornis*, *E. tessellaris* e *E. urophylla*.

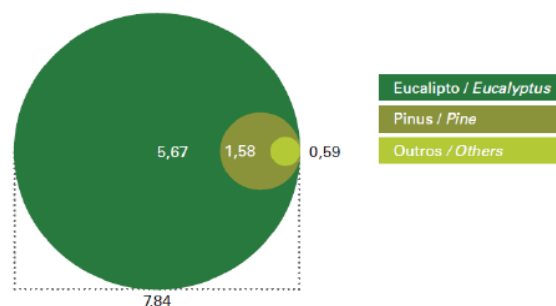
Em relação às diferenças entre as diversas espécies de eucalipto, Jesus *et al.* (2016) demonstra, a partir da caracterização energética das espécies *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus propinqua*, *Eucalyptus robusta*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus botryoides* (todas com seis anos de idade) que, estatisticamente, não existe diferença significativa em relação ao poder calorífico.

### Floresta de Eucalipto

Conforme o Plano Nacional de Energia – PNE 2030 (EPE, 2007), a produção florestal pode ser silvicultural ou extrativa vegetal. A silvicultura se baseia no plantio e colheita de espécies exóticas, como no caso do eucalipto, do pinus americano, da acácia-negra, etc., e também do plantio de espécies nativas, como a araucária e o mogno. Já em relação ao extrativismo vegetal, são realizadas colheitas de espécies nativas espontâneas.

Conforme Teixeira (2014), o aumento da produtividade, da área plantada de florestas e da produção de madeira em tora permitiu que diversos setores se desenvolvessem no Brasil, sendo os principais consumidores os setores de papel e celulose, indústria madeireira, indústria de painéis industrializados e siderurgia, que consomem lenha e carvão vegetal para geração de energia.

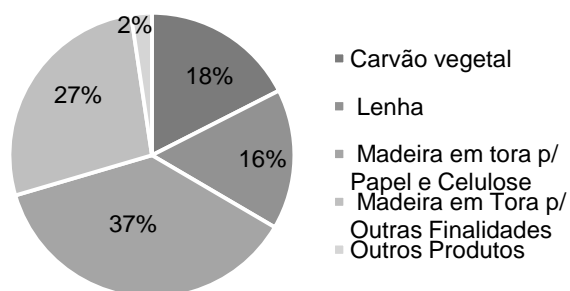
A silvicultura e o extrativismo vegetal, somados, obtiveram o valor da produção de R\$ 19,1 bilhões em 2017, sendo a silvicultura responsável por 77,3% (R\$ 14,8 bilhões) deste valor. Em relação a 2016, a silvicultura teve um aumento de 5% no valor produzido, enquanto que o extrativismo vegetal enfrentou uma queda de 1,9% em relação a este mesmo período, o que revela uma troca entre estes modelos de produção (RODRIGUES, 2018).



**Figura 4.** Áreas cultivadas de Eucalipto e Pinus (milhões de ha), Brasil – 2016. Fonte: Adaptado de IBÁ (2017).

Na Figura 4, nota-se que existem mais plantios de eucalipto no Brasil em comparação com as demais culturas. As regiões Sudeste e Sul possuem mais áreas cultivadas de eucalipto e pinus, havendo um predomínio do eucalipto na região sudeste e do pinus, na região sul (IBÁ, 2017).

Na Figura 5, pode-se notar que além da madeira em tora para produção de papel e celulose, existe uma forte demanda por madeira em tora para outras finalidades (destinada a produção de móveis, construção naval e civil, etc.) e também para a produção de energia, no caso do carvão vegetal e da lenha.



**Figura 5.** Participação de cada produto da silvicultura no valor total da produção da silvicultura, Brasil – 2016 (%).

Fonte: Elaboração própria a partir de dados da CNAE - IBGE, 2016.

Teixeira (2014) destaca a relevância do setor madeireiro no ponto de vista econômico, ambiental e social. Conforme o autor, o aumento da produção neste setor, em 2012, colocou esta atividade no mesmo nível de importância econômica que a soja, o etanol e a carne, com a geração de US\$ 19,5 bilhões no comércio internacional, neste mesmo ano. Do ponto de vista ambiental e social, conforme o autor, houve um aumento da geração de empregos e a geração de diversos serviços ambientais que contribuíram para a manutenção de ecossistemas e para a redução da emissão de gases de efeito estufa.

Na Tabela 2 percebe-se que no Brasil existem vantagens comparativas principalmente no que se refere à disponibilidade de terras e baixo custo para realização do plantio. Para Juvenal e Mattos (2002), as vantagens comparativas estão associadas às condições edafoclimáticas (solo e clima) para a silvicultura. Este fator juntamente com os avanços tecnológicos para o plantio, geram vantagens competitivas.

**Tabela 2.** Vantagens comparativas e competitivas do setor florestal brasileiro

| Vantagens Comparativas  | Vantagens Competitivas                 |
|---|--|
| Baixo custo de produção florestal                               | Alta produtividade                     |
| Disponibilidade de áreas degradadas e com vocação florestal     | Tecnologia de produção florestal       |
| Área existente com florestas nativas (MFS)                      | Indústria de bens de capital           |
| Florestas plantadas em diferentes estágios de desenvolvimento   | Capacidade técnica (gestão)            |
| Disponibilidade de mão-de-obra a custos relativamente reduzidos | Mercado doméstico amplo em crescimento |

Fonte: Braunbeck, Magalhães e Garcia (2008).

Conforme Teixeira (2014), o Brasil tem a maior produtividade mundial no plantio de eucalipto e pinus, porém esta vantagem competitiva está sendo colocada à risca frente o aumento dos custos de produção nesse setor. Entre as vantagens competitivas na produção de madeira no Brasil estão as condições edafoclimáticas, a disponibilidade de terras e os investimentos em pesquisa e desenvolvimento neste ramo.

#### Biomassa de resíduos agroindustriais e florestais

Além do uso da madeira na forma de lenha e carvão, também são utilizados cavacos, serragem, pellets, briquetes, entre outros resíduos. No caso do briquete, a madeira passa por uma transformação industrial para que possa ser utilizada em estufas, caldeiras ou fornos, a uma temperatura controlada. A fabricação de briquetes permite o melhor aproveitamento das árvores, já que são utilizados também os resíduos de galhadas (PENTEADO, PICHELLI, SOARES, 2018).

De acordo com Quirino (1991), uma grande parte dos resíduos agroindustriais são pouco aproveitados e estão concentrados principalmente nos maiores centros urbanos, onde existe maior

demanda por energia. Além disso, existe pouca produção de lenha nestas localidades. Deste modo, a briquetagem de resíduos lignocelulósicos (como a serragem, maravalha, casca de arroz, bagaço de cana, entre outros) surge como uma alternativa para seu aproveitamento, sendo a qualidade do briquete considerada superior à da lenha.

Conforme Solano, Vinyes e Arranz (2016), o briquete é fabricado, usualmente, com seu diâmetro entre 50 a 80 mm e 150 mm de comprimento, podendo ter o formato de um cilindro, de um prisma ou ser retangular; e também possui um orifício para facilitar o processo de combustão.

Segundo Quirino (1991; 2003), o briquete tem densidade relativa aparente em torno de 1,1 g.cm<sup>-3</sup> e densidade a granel entre 500 a 600 kg.m<sup>-3</sup>, o que permite reduzir seu volume de quatro a seis vezes quando comparado à lenha e também sua densidade energética é três vezes superior a deste material. Além disso, o briquete possui entre 10% a 12% de teor de umidade, enquanto que o da lenha fica entre 25% a 35%.

Apesar das vantagens da utilização do briquete, como sua densidade energética, menor volume para transporte e armazenamento, ele ainda

não é produzido em escala no Brasil. Para Felfli (2011), o aumento da produção de briquetes depende ainda da disponibilidade para obtenção de resíduos, tecnologias para briquetagem e expansão do mercado consumidor.

Os resíduos que apresentam maior viabilidade para briquetagem, no Brasil, são os resíduos de madeira, como a serragem e o cavaco e também a casca de arroz e de café. O bagaço de cana, apesar de ser o resíduo mais abundante, não é recomendado, já que possui um alto teor de umidade (em torno de 50%), além de ser utilizado em sua maior parte para abastecer a própria usina para produção de calor e açúcar (FELFLI *et al.*, 2011).

Em comparação com o uso do cavaco de eucalipto, Costa *et al.* (2010), relatam que o uso deste material se torna mais eficiente que o uso da lenha, por ter maior superfície de contato, o que pode aumentar a eficiência no uso da biomassa em diversos sistemas de queima em caldeira. Além disso, são aproveitados os galhos e outros resíduos florestais, o que contribui para aumentar o uso energético da floresta. Para a fabricação do cavaco, é necessária a utilização de uma máquina picadora de madeira, sendo necessários ainda o alimentador da caldeira e a mão-de-obra.

Em relação aos resíduos gerados nas indústrias madeireiras em decorrência da operação de serras, a chamada serragem ou pó de serra, quando utilizados para queima, se tornam uma alternativa para diminuir sua deposição no meio ambiente, o que geraria poluição. Conforme Rezende, Leal e Neves (2014), entre as vantagens do uso da serragem estão sua biodegradabilidade e combustibilidade, sendo mais eficaz quando utilizado na forma de briquete.

Para Rezende, Leal e Neves (2014), a utilização do briquete de serragem se mostra mais eficiente quando comparado à serragem em pó, pois ocupa menos espaço (o que facilita o estoque e transporte), tem alto poder calorífico, apresenta menor teor de umidade, produz menos fumaça, cinza e fuligem, além do processo de queima ser constante e uniforme. Conforme os autores, um metro cúbico de briquete equivale a cinco vezes mais energia que um metro cúbico de serragem.

Em relação a casca de arroz, ela corresponde a cerca de 23% do peso do arroz, é obtida no processo de beneficiamento e é comumente usada para geração de energia. A produção de arroz é a terceira maior *commodity* agrícola do mundo, sendo o Brasil um dos maiores produtores, estando atrás apenas dos países do continente asiático. Logo, percebe-se o grande potencial da casca de arroz para suprir a demanda por biomassa para queima (ABAIDE, 2019).

Conforme Lhamby, Senna e Canes (2010), o uso da casca de arroz para queima pode fornecer todo o calor e eletricidade necessária para a própria empresa do setor arrozeiro. Neste caso, ocorre uma redução dos custos com transporte, por não

necessitar comprar biomassa de outros locais e também redução dos custos com combustíveis fósseis.

Segundo Moraes *et al.* (2006), a briquetagem da casca de arroz deixa este material mais viável de ser utilizado em caldeiras, pois facilita no seu processo de alimentação, devido à baixa densidade a granel da casca. Neste processo, ocorre a densificação do material, por meio do uso de uma prensa, a homogeneização, uso de aglomerante (caso necessário) e sua compactação.

### Considerações finais

A partir desta revisão, constatou-se que as energias renováveis contribuem para a geração de emprego, para a diminuição de GEE e diminuição de custos no setor elétrico. Além disso, existe uma tendência de aumento da capacidade instalada no setor elétrico para a geração de bioenergia oriunda de biomassa sólida.

O Brasil possui uma diversidade de recursos para serem utilizados como fonte de biomassa para geração de energia. Pode-se destacar o grande número de áreas destinadas ao plantio de eucalipto, que é a principal cultura destinada a energia. Entre as vantagens que o Brasil possui no plantio de eucalipto são a alta produtividade, disponibilidade de terras e mercado. Além disso, os resíduos agrícolas e florestais gerados nas atividades industriais e de colheita podem ser reaproveitados, como a casca de diversas culturas, o cavaco, o bagaço e a serragem. A fabricação e utilização de briquetes a partir destes resíduos ainda possibilita otimizá-los para a geração de energia.

### Agradecimentos

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

### Referências

- ABAIDE, E. R.; TRES, M. V.; ZABOTI, G. L.; MAZUTTI, M. A. Reasons for processing of rice coproducts: Reality and expectations. *Biomass and Bioenergy* 10: 240-256, 2019.
- ABRAF. Associação Brasileira de Florestas Plantadas. Anuário Estatístico 2012. <http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF12/ABRAF12-BR.pdf>
- BARRICHELO, L. E. G.; MÜLLER, P. H. *Indicações para escolha de espécies de Eucalyptus*. Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais – IPEF, 2005. <https://www.ipef.br/identificacao/eucalyptus/indicacoes.asp>.
- BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G.; GARCIA, M. O. Biomassa no Brasil e no Mundo In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O.

- (ed.) Biomassa para energia. Editora da Unicamp, Campinas. p. 74-89, 2008.
- CARNEIRO, A. de C. O.; CASTRO, A. F. N. M.; CASTRO, R. V. O.; SANTOS, R. C. dos; FERREIRA, L. P.; DAMÁSIO, R. A. P.; VITAL, B. R. Potencial energético da madeira de eucalipto. *Revista da madeira* 137, 2013.
- CNAE. Classificação Nacional de Atividades Econômicas. Banco de Dados Agregados de Extração de madeira em florestas plantadas. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, 2016.  
<https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/classificacoes/cnae2.0/default.shtm>
- COELHO, S. Biomassa como fonte de energia. In: GOLDEMBERG, J.; PALLETA, F. C (ed.) *Energias Renováveis*. Blucher, São Paulo. p. 23-33, 2012.
- COSTA, D. R. da; FILHO, A. F. de L.; FILHO, D. O.; COSTA, J. M.; TEIXEIRA, C. A. Consumo específico de energia no processamento de madeira em cavacos de um picador (estudo de caso). *REVENG: Revista de Engenharia na Agricultura* 18 (2): 171-177, 2010.
- EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA – EPE. *Plano nacional de Energia 2030*. Rio de Janeiro: EPE, 2007.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Plano nacional de Energia 2030*. EPE, Rio de Janeiro, 2007.
- EPE. Empresa de Pesquisa Energética. *Balço Energético Nacional 2019: Ano base 2018*. EPE, Rio de Janeiro, 2019.
- FELFLI, F. F.; MESA, J. M.; ROCHA, J. D.; FILIPPETTO, D.; LUENGO, C. A.; PIPPO, W. A. Biomass briquetting and its perspectives in Brazil. *Biomass and Bioenergy* 35: 236-242, 2011.
- FISHER, M.; KELLEY, A. M.; WARD, E. J.; BOONE, J. D.; ASHLEY, E. M.; DOMEK, C.; WILLIAMSON, J. C.; KING, J. S. A Critical analysis of species selection and high vs. low-input silviculture on establishment success and early productivity of model short-rotation wood-energy cropping systems. *Biomass and Bioenergy* 98: 214-227, 2017.
- FREITAS, S. M. de; CASTANHO FILHO, E. P. Brasil Expande a Cogeração de Energia a Partir de Resíduos Agropecuários. *Revista Análises e Indicadores do Agronegócio* 8 (6), 2013.
- GAETE-MORALES, C.; GALLEGOS-SCHMID, A.; STAMFORD, L.; AZAPAGIC, A. A novel framework for development and optimisation of future electricity scenarios with high penetration of renewables and storage. *Applied Energy* 250: 1657-1672, 2019.
- GOLDEMBERG, J. Energia e sustentabilidade. *Revista de Cultura e Extensão USP* 14: 33-43, 2015.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Fontes de Energia. In: GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. *Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento*. 3 ed. Editora da Universidade de São Paulo, São Paulo. p. 67-82, 2008.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. Relatório 2017. [https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA\\_RelatorioAnual2017.pdf](https://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf)
- IRENA. International Renewable Energy Agency. 2020. <https://www.irena.org/>
- IRENA. International Renewable Energy Agency. *Renewable energy and jobs – Annual Review 2017*.
- JESUS, M. S.; COSTA, L. J.; FERREIRA, J. C.; FREITAS, F. P.; SANTOS, L. C.; ROCHA, M. F. V. Caracterização energética de diferentes espécies de *Eucalyptus*. *Revista Floresta* 47(1):11-16, 2017.
- JUVENAL, T.L.; MATTOS, R.L.G. O setor florestal no Brasil e a importância do reflorestamento. *BNDES Setorial* 16: 3-30, 2002.
- LHAMBY, A. R.; SENNA, A. J. T.; CANES, S. E. A Prática da Gestão Ambiental Agroindustrial: Um Estudo de Caso em uma Agroindústria que Produz Energia Elétrica a Partir da Casca do Arroz. In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, 1., 2010, Bauru. Anais... Bauru, 2010. <<http://www.ibeas.org.br/Congresso/Trabalhos2010/XI-001.pdf>>.
- MME. Ministério de Minas e Energia. *Resenha Energética Brasileira – exercício 2018*. Brasília, 2019.
- MORAIS, M. R.; SEYE, O.; FREITAS, K. T. de; RODRIGUES, M.; SANTOS, E. C. S. dos; SOUZA, R. C. R. Obtenção de briquetes de carvão vegetal de cascas de arroz utilizando baixa pressão de compactação. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL, 6., 2006, Campinas. Anais... Campinas, 2006. <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=MSC000000022006000200019&lng=en&nrm=abn](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=MSC000000022006000200019&lng=en&nrm=abn)>
- OIT. Organização Internacional do Trabalho. *Greening with jobs: World employment social outlook* 2018. <[https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms\\_628654.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---dgreports/---dcomm/---publ/documents/publication/wcms_628654.pdf)>



OWUSU, P. A.; ASUMADU-SARKODIE, S. A review of renewable energy sources, sustainability issues and climate change mitigation. *Cogent Engineering* 3, 2016.

PENTEADO, J.; PICHELLI, K.; SOARES, S. Perguntas e Respostas: Eucalipto. Embrapa Florestas, 2018.

QUIRINO, W. F. Briquetagem de resíduos lignocelulósicos. Ed. IBAMA - Circular Técnica do LPF 1 (2), 1991.

\_\_\_\_\_. Utilização energética de resíduos vegetais. Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA, 2003.

REZENDE, M. B; LEAL, L. de S; NEVEZ, L. A. Viabilidade da substituição da serragem por briquetes na queima de tijolos em empresa de Ulianópolis-Pa. In: Congresso Internacional de Tecnologias para o Meio Ambiente, 4., 2014, Bento Gonçalves. Anais... Bento Gonçalves, 2014.

RODRIGUES, J. C. M. M. Pevs 2017: produção da silvicultura e da extração vegetal chega a R\$ 19,1 bilhões e cresce 3,4% em relação a 2016. Agência de Notícias IBGE, 2018. <<https://agenciadenoticias.ibge.gov.br/agencia-sala-de-imprensa/2013-agencia-de-noticias/releases/22620-pevs-2017-producao-da-silvicultura-e-da-extracao-vegetal-chega-a-r-19-1-bilhoes-e-cresce-3-4-em-relacao-a-2016>>.

RUAN, R.; ZHANG, Y.; CHEN, P.; LIU, S.; FAN, L.; ZHOU, N.; DING, K.; PENG, P.; ADDY, M.; CHENG, Y.; ANDERSON, E.; WANG, Y.; LIU, Y.; LEI, H.; LI, B. Chapter 1 - Biofuels: Introduction. In: Pandey, A.; LARROCHE, C.; DUSSAPI, C.; GNANSOUNOU, E.; KHANAL, S. K.; RICKE, S. (org.). *Biofuels: Alternative Feedstocks and Conversion Processes for the Production of Liquid and Gaseous Biofuels*. 2 ed. Biomass, Biofuels, Biochemicals: 3-43, 2019.

SEESP. Secretaria de Energia do Estado de São Paulo. Plano Paulista de Energia / São Paulo (Estado). Secretaria de Energia, São Paulo, 2012.

SOLANO, D.; VINYES, P.; ARRANZ, P. Biomass briquetting process, a guideline report. United Nations Development Programme, 2016. <http://www.cedro-undp.org/content/uploads/publication/161124125247966-Briquettingreportforweb.pdf>.

TEIXEIRA, C. M. Caracterização Química de Resíduos de *Eucalyptus* sp. de Floresta de Curta Rotação para a Produção de Bioenergia. *Revista Virtual de Química* 8 (5), 1693- 1701, 2016.

TEIXEIRA, S. Florestas Brasileiras estão menos competitivas. *AGRIANUAL 2014: Anuário da Agricultura Brasileira*. São Paulo: FNP Consultoria e Comércio, p. 287-290, 2014.

VICHI, F. M.; MELLO, L. F. de. A Questão Energética no Brasil. In: HINRICHS, R. A.; KLEINBACH, M (ed.) *Energia e Meio Ambiente*. Cengage Learning, São Paulo, p. 479-481, 2004.