

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE RESÍDUOS DE PODA NO CAMPUS AEROPORTO DA UNIVERSIDADE DE UBERABA-UNIUBE

ENERGY USE OF PRUNING WASTE AT THE AIRPORT CAMPUS OF THE UNIVERSITY OF UBERABA - UNIUBE

Pablo Gomes Passaglia¹, Suani Teixeira Coelho², Mônica Joelma do Nascimento Anater³

¹ Programa de Educação Continuada da Poli, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil -
passaglia@terra.com.br

^{2,3} Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEE), Universidade de São Paulo - Grupo de Pesquisa em
Bioenergia (GBio), São Paulo, SP, Brasil – *suani@iee.usp.br* & *monicananater@gmail.com*

RESUMO

Atualmente, 2,01 bilhões de toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) são geradas anualmente no mundo, e dentre eles estão os Resíduos de Poda Urbana (RPU), que possuem alto potencial de aproveitamento. A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), determina que a destinação final ambientalmente adequada de resíduos inclui, dentre outros, o aproveitamento energético do material. Este trabalho tem por objetivo analisar alternativas para o aproveitamento energético dos resíduos de biomassa vegetal gerados no Campus Universitário da Universidade de Uberaba, Minas Gerais. Após o levantamento dos procedimentos de manejo, destinação atual e quantificação dos resíduos oriundos de podas, roçagem e limpeza das áreas vegetadas, foi avaliado, com o auxílio de material bibliográfico, o potencial energético passível de aproveitamento. Considerando os processos de densificação, biodigestão, gaseificação e pirólise, a economia avaliada com a energia elétrica gerada, por estas rotas de conversão, são avaliadas em no máximo 2,1%, 1,1%, 3,8% e 3,2% respectivamente. Conclui-se que apesar do volume significativo de resíduos gerados, o investimento necessário para implantação de sistemas de conversão da biomassa em energia elétrica, não se viabilizam. No entanto a conversão destes resíduos através da rota de densificação, em especial na forma de pellets demonstrou-se uma alternativa a ser considerada, sobretudo por ser uma forma sustentável de armazenamento de energia.

PALAVRAS-CHAVE: Biomassa florestal residual, Gestão de resíduos, Potencial energético, Resíduos urbanos.

ABSTRACT

Currently, 2.01 billion tons of Urban Solid Waste (MSW) are generated annually around the world. Among these are urban pruning residues, which have a high potential for use. The National Solid Waste Policy (PNRS) determines that the environmentally appropriate final disposal of waste includes, among others, the energy use of the material. Despite this, most of the urban pruning waste produced in the country still has an uncertain destination. This work aims to analyze alternatives for the energy use of vegetable biomass waste generated on the University Campus of the University of Uberaba, Minas Gerais. After surveying the management procedures, current destination, and quantification of residues from pruning, mowing, and cleaning of vegetated areas, the energy potential that could be used was evaluated. Considering the processes of densification, biodigestion, gasification and pyrolysis, the evaluated savings with the electric energy generated, by these conversion routes, are evaluated in a maximum of 2.1%, 1.1%, 3.8% and 3.2% respectively. It is concluded that despite the significant volume of pruning waste generated at the study site, the energy savings generated would not justify the investment in the implementation of systems for converting these wastes to produce electricity. However, the conversion of these residues through the densification route, especially in the form of pellets, proved to be an alternative to be considered, mainly because it is a sustainable form of energy storage.

KEYWORDS: Residual forest biomass, Waste management, Energy potential, Urban waste.

INTRODUÇÃO

No Brasil, a crescente crise econômica e social, agravada pela pandemia provocada pelo SARS COVID 19, sofreu acréscimo de mais um indicador negativo, a crise hídrica ocasionada pela falta de chuvas nas principais bacias hidrográficas das regiões Sul, Sudeste e Centro-Oeste do país, levando a diminuição da produção de energia pelas hidrelétricas. Diante deste cenário, especialistas apontam que há alta probabilidade de racionamento de energia nos próximos anos, ou até mesmo “apagões” como os ocorridos no Brasil no ano de 2001 (JANONE & BARRETO, 2021).

Segundo EPE (2021) a capacidade instalada da matriz elétrica brasileira no ano de 2020 era composta por 62,5% de fontes hidrelétricas, 15,9% fontes não renováveis, sobretudo fóssil, 9,8% de fonte eólica, 8,8% provenientes de biomassa, 1,9% de fonte solar e 1,1% proveniente de energia nuclear. No entanto, a geração de energia a partir da biomassa poderia ter resultados mais expressivos se houvesse um melhor aproveitamento dos resíduos sólidos urbanos (RSU). Segundo a Empresa de Pesquisa Energética (EPE, 2017), somente 5,1% deste potencial é aproveitado. Estima-se que, a depender da tecnologia aplicada e do tipo de resíduos, já descontado o consumo próprio, o potencial de geração de energia a partir de resíduos de biomassa pode chegar a 0,2 MWh por tonelada de resíduos, no caso de um ciclo a vapor (NASCIMENTO et al., 2019).

Os processos de conversão energética da biomassa podem ser classificados em três grandes grupos: processos físicos, termoquímicos e biológicos. Processos físicos englobam a densificação, redução granulométrica e a obtenção de óleos vegetais por processos de prensagem. Os processos termoquímicos se caracterizam por temperaturas elevadas e incluem a combustão direta, gaseificação, pirólise e liquefação. Os processos de conversão biológica envolvem geralmente biomassa com alto teor de umidade e se caracteriza pelos processos de digestão anaeróbia e fermentação alcoólica (NOGUEIRA & LORA, 2003).

Tecnologias como a biodigestão, pirólise, densificação e gaseificação podem ser aplicadas para aproveitamento energético de forma distribuída, contribuindo significativamente para o equilíbrio entre oferta e demanda de energia, diminuindo a dependência das hidroelétricas e reduzindo a necessidade de investimentos em linhas de transmissão de grandes distâncias (TOLMASQUIM, 2016).

A biodigestão anaeróbia se dá através da degradação biológica da matéria orgânica e depende da atividade

conjunta de uma associação de microrganismos para transformar material orgânico em dióxido de carbono e principalmente metano, cerca de 65%. Esta captura traz como principais benefícios, evitar o lançamento do gás metano diretamente na atmosfera, uma vez que ele é cerca de 28 vezes mais poluente que o dióxido de carbono (CO₂) e a possibilidade de seu uso como combustível (COELHO et al., 2020).

A pirólise se caracteriza por um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas relativamente baixas (500°C – 800°C) em atmosfera não oxidante, formando compostos sólidos, líquidos e gasosos a depender do método de pirólise a ser empregado (CORTEZ et al., 2009).

A produção de pellets ou briquetes a partir da biomassa de resíduos de poda se dá principalmente pela combinação de calor e pressão, sendo estas as principais rotas de densificação. Em geral, o material peletizado ou briquetado tem densidade entre 1.100 até 1.330 kg/m³(NOGUEIRA & LORA, 2003). Já a produção de pellets dos resíduos florestais, objeto de estudo de Silva (2016), se demonstrou bastante promissora, pois se comparado aos resultados obtidos por Garcia et al. (2012) - os quais avaliaram a densidades energéticas da serragem 2,68 GJ/m³ e do cavaco 3,39 GJ/m³- verifica-se o aumento de 3,4 vezes da densidade energética se comparado a serragem e 2,7 vezes se comparado a densidade energética do cavaco.

A gaseificação consiste em processo termoquímico com objetivo de converter um insumo líquido ou sólido em um gás com características combustíveis. Se dá principalmente através de sua oxidação parcial a temperaturas acima das recomendadas para pirólise e abaixo das recomendadas para os processos de combustão. O poder calorífico do gás produzido pelos gaseificadores está intrinsecamente ligado a injeção da mistura de ar ou outros gases no processo. A gaseificação com ar produz gás com baixo poder calorífico, em torno de 5MJ/Nm³. Já a gaseificação com oxigênio puro ou com vapor d'água, consegue um poder calorífico de aproximadamente 10 a 15 MJ/Nm³ (CORTEZ et al., 2009).

Dentre os resíduos sólidos urbanos produzidos, os resíduos de poda e manutenção das áreas vegetadas de espaços públicos urbanos, tem se apresentado particularmente de difícil gestão.

No Brasil, a Política nacional de Resíduos Sólidos, instituída pela Lei nº 12.305 de 2010, no artigo 3º, define resíduo sólido como o “material, substância, objeto ou bem descartado resultante de atividades humanas em sociedade, a cuja destinação final se procede, se propõe proceder ou se está obrigado a proceder, nos estados sólido

ou semissólido, bem como gases contidos em recipientes e líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou em corpos d'água, ou exijam para isso soluções técnica ou economicamente inviáveis em face da melhor tecnologia disponível” (BRASIL, 2010).

Este mesmo artigo traz outras definições importantes para compreensão da lei, dentre eles um dos mais importantes é o conceito de rejeito, no qual define que “... resíduos sólidos que, depois de esgotadas todas as possibilidades de tratamento e recuperação por processos tecnológicos disponíveis e economicamente viáveis, não apresentem outra possibilidade que não a disposição final ambientalmente adequada” (BRASIL, 2010).

Como pode ser observado pelas próprias definições da legislação vigente, teríamos que esgotar todas as possibilidades de aproveitamento dos resíduos sólidos antes que sejam considerados efetivamente rejeitos e desta forma seguir para destinação final. Dentre as possibilidades de aproveitamento, inclui-se o aproveitamento energético da biomassa.

Neste contexto, este trabalho avaliou a situação singular de uma Instituição de Ensino Superior (IES), localizado na cidade de Uberaba, estado de Minas Gerais, com vista a analisar especificamente as alternativas de aproveitamento energético de resíduos de poda e de manutenção da área vegetada de seu principal campus.

MATERIAL E MÉTODOS

O Campus Aeroporto da Universidade de Uberaba consiste em um espaço de 385.000 m², localizado nas coordenadas de latitude 19°45'31.60"S e longitude 47°57'48.03"O na cidade de Uberaba, Minas Gerais. O Campus em estudo é uma área altamente arborizada e vegetada (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**), que exige manutenção e cuidados permanentes, visto a constante produção de resíduos de poda, limpeza das áreas vegetadas, roçagem e eventuais supressões de árvores.

Quantificação dos resíduos

Para a quantificação dos resíduos foi desenvolvido um questionário semiestruturado, o qual foi submetido à encarregada e a líder do setor de jardinagem, que possuem acesso direto aos dados de geração dos resíduos. Durante dois meses (setembro e outubro de 2021) acompanhou-se

o manejo e o tratamento dado aos resíduos de poda na Universidade.



Figura 1. - Imagem aérea do Campus Aeroporto da Universidade de Uberaba. Departamento de Marketing – Universidade de Uberaba – UNIUBE (2021).

Para a estimativa do peso anual individual de cada tipo de resíduo gerados foram adotados os seguintes procedimentos:

- Os resíduos foram divididos em três categorias: folhas secas, flores e folhas secas e gramíneas. A partir do material coletado e armazenado em sacos com volume de 1m³, foram extraídas amostras em diversos pontos do Campus, estas amostras foram acondicionadas em sacos de 100 litros e estes volumes ficaram armazenados em temperatura ambiente por 24 horas. Após o período de estabilização as amostras foram pesadas.

Para aferição do peso, foram padronizadas amostras em sacos de 100 litros e, com a utilização de balança eletrônica de plataforma da marca *Elgin*, modelo *BPW 10.000*, calibrada, foi realizada a pesagem. Foi avaliado o tipo de resíduo principal e o volume (m³) dos resíduos gerados.

Determinação do potencial energético

Para determinação do potencial energético da biomassa residual em questão, faz-se necessário conhecer suas características físico-químicas e termoquímicas. Desta forma, este trabalho buscou por meio de pesquisa bibliográfica, estudos similares que apresentassem resultados compatíveis com o tipo de resíduo gerado no local de estudo. Em função do tipo de resíduo gerado no Campus universitário em estudo, seus volumes, a infraestrutura existente e as possibilidades de aplicação energética da biomassa disponível, foi avaliada a

potencialidade de geração de energia elétrica utilizando as tecnologias de densificação, biodigestão, gaseificação e pirólise, conforme descrito a seguir:

a) **Densificação:** A determinação do potencial energético dos pellets ou briquetes com produção a partir dos resíduos de poda coletados anualmente no local de estudo, deu-se a partir dos resultados obtidos por Silva (2016) para pellets, e Petricoski (2017) para briquetes. Os dois estudos obtiveram potencial energético similar para pellets e briquetes e serviram de base comparativa para o presente estudo;

b) **Biodigestão:** A determinação do potencial energético por meio de biodigestão, foi obtida baseando-se na metodologia desenvolvida pelo Atlas de Bioenergia do estado de São Paulo, do ano de 2020 (COELHO et al., 2020).

c) **Gaseificação:** Para aplicação do processo de gaseificação aos resíduos sólidos urbanos (RSU) e, em especial para resíduos de poda urbana (RPU), se faz necessário a transformação dos mesmos em CDR (Combustível Derivado de Resíduo, obtido após a secagem, separação e trituração dos RSU). Desta maneira o CDR com 25% de umidade apresenta rendimento aproximado de 60% do RSU inicial (COELHO et al., 2020).

d) **Pirólise:** A avaliação do potencial energético da biomassa pela tecnologia de pirólise, se deu avaliando o processo em forno de micro-ondas. Para tal, foram analisados os resultados obtidos por (Morais et al., 2017) para tecnologia de pirólise em forno de micro-ondas. A pirólise realizada neste equipamento traz como principal benefício a conversão de cerca de 45% da biomassa em carvão. Este resultado é cerca de 50% maior do que as tecnologias convencionais de carbonização, sendo possível ainda o aproveitamento dos outros materiais residuais gerados no processo, como bio-óleo e gases não condensáveis. A biomassa bruta e os produtos de pirólise são calculados por meio da determinação do poder calorífico superior, desenvolvida pelo *Institute of Gas Technology* (IGT) (JAHIRUL et al., 2012).

Aliado a isso, foi avaliada também a possibilidade de redução da logística de descarte atualmente empregada, possibilitando desta maneira a análise quantitativa do resíduo gerado e seu potencial energético.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com o intuito de ilustrar a diversidade de espécies vegetais presentes no local de estudo, foi elaborado uma apresentação gráfica, mapeando as espécies

predominantes nas principais áreas do Campus (**Erro! Fonte de referência não encontrada.**).



Figura 2. Principais espécies vegetais no Campus Aeroporto da Universidade de Uberaba. Fonte: Elaboração própria.

O volume e peso unitário médio dos diversos tipos de resíduos estão apresentados na

Tabela 1. A estimativa do peso e volume anual gerado no Campus Aeroporto pode ser verificado na Tabela 2. A análise da geração de resíduos constatou que o volume médio de resíduos gerados é em torno de 50m³ semanais, excluindo dos resíduos, os galhos de maior dimensão (lenha) e árvores suprimidas.

Tabela 1. Determinação de pesos unitários dos diversos tipos de resíduos.

Imagem	Tipo de resíduo principal	Volume (m ³)	Peso médio (kg)
	Folhas secas	0,1	4,2
	Flores e folhas secas	0,1	7,15

	Gramíneas	0,1	5,3
---	-----------	-----	-----

Tabela 2. Determinação dos volumes e pesos totais.

Tipo de resíduo Principal	Volume semanal (m³)	Volume Anual (m³)	Peso semanal médio (kg)	Peso anual médio (kg)
Poda e limpeza	50	2.600	2.775	144.300

A partir da quantificação dos resíduos foi determinado o potencial energético de cada uma das rotas de conversão. A Tabela 3 indica o potencial energético identificado para aproveitamento dos resíduos vegetais gerados do Campus universitário em análise. Desta maneira, foi possível determinar a economia financeira estimada, baseada no consumo de energia do período compreendido entre agosto de 2020 a setembro de 2021 (12 meses).

Foram considerados diferentes usos finais potenciais para cada tecnologia, isso porque cada rota de conversão demanda uma infraestrutura própria para implantação e destinação da energia produzida. Desta maneira as sugestões de uso final desta energia levam em consideração a maior proximidade entre a área destinada a possível planta de conversão energética e seu uso final, buscando diminuir assim a infraestrutura de distribuição da energia gerada Tabela 4.

Tabela 3. Análise do potencial energético dos resíduos de poda por tecnologia de conversão.

	Biodigestão	Densificação	Gaseificação	Pirólise
Potencial (volume)	14.646,45 Nm³/ano	120,25 m³ de pellets	548.62 Nm³ _{Syngas} /h	65m³
Potencial energético	57.384 MJ/ano	107.883 MJ/ano	196.560 MJ/ano	909.200 MJ/ano
Potencial de geração de eletricidade	15,94 MWh/ano	29,97 MWh/ano	54,6 MWh/ano	46,8 MWh/ano
Economia financeira anual projetada ¹	R\$ 19.224	R\$ 36.144	R\$ 65.849	R\$ 56.442
% relativo ao consumo de energia total anual do campus	1,1%	2,1%	3,8%	3,2%

Tabela 4. Sugestão de possível uso final para o potencial

¹ Baseado no valor médio do kWh de R\$ 1,21 pago pela universidade.

energético identificado para cada tecnologia.

Tecnologia	Possível uso final
Biodigestão	Produção de eletricidade para abastecimento de chiller de 75TR no horário de ponta.
Densificação	Aquecimento da piscina olímpica e da piscina acadêmica. Substituição do gás GLP do refeitório.
Gaseificação	Produção de eletricidade para abastecimento do Campus em horário de ponta em dois meses ano.
Pirólise	Produção de eletricidade para abastecimento do Campus em horário de ponta em dois meses do ano.

Considerando os custos anuais com energia elétrica do Campus objeto deste estudo, o qual nos últimos 12 meses ficou em torno de R\$ 1,89 milhões, temos que a economia de energia proporcionada pelo aproveitamento dos resíduos de poda pode variar de 1,1% a 3,8% ano, dependendo da tecnologia adotada.

Para a implantação das tecnologias sugeridas para a conversão dos resíduos em energia no campus em estudo, o fator custo é um limitador importante a ser considerado em virtude das tecnologias disponíveis para conversão

Tabela 5.

Tabela 5. Custo das tecnologias para conversão de biomassa em energia elétrica. Fonte: Adaptado de (NOGUEIRA & LORA, 2003).

Tecnologia	Eficiência %	Custo US\$/kW	Capacidade kW
Motores Stirling ²	>30	2000-5000	<40
Gaseificadores e motores alternativos	20	1200	5 a 1000
Células a combustível	80	3000-4000	<250

Com base nos dados disponíveis na Tabela 5 e aplicando a atualização monetária da moeda americana com base na inflação do período compreendido entre os anos de 2003 e 2022, elaborou-se a análise financeira das tecnologias de conversão aqui estudadas. Os resultados estão apresentados na Tabela 6 e demonstram a inviabilidade econômica da implantação das tecnologias. A tabela considera a disponibilidade de equipamentos e a capacidade mínima de geração. Além disso, apresenta os valores de *payback* simples, que apontam em quantos anos o investimento na tecnologia se pagaria.

Quanto a densificação, não foi determinado o custo de implantação, visto a especificidade da tecnologia, que faz com que o valor dependa de cada projeto. Por outro lado, o aproveitamento dos resíduos de poda a partir da densificação dos resíduos de poda gerados e sua conversão em pellets, podem ser uma alternativa a ser analisada já

² Consiste em um motor alternativo a pistão movido por uma fonte externa de calor.

que podem reduzir em até 95% o resíduo gerado, trazendo a possibilidade de armazenamento do RPU, com consequente ganho energético e possibilidade de aplicação futura. De toda maneira haveria um ganho na logística atualmente empregada além da possibilidade de aplicação imediata dos pellets em sistemas de aquecimento, caldeiras, fogões dentre outros.

Tabela 6. Comparativos de custos de implantação por tecnologia de conversão do RPU em biocombustível/ tecnologia de conversão do biocombustível em energia elétrica, e seus respectivos *payback* simples.

Tecnologia de conversão de Resíduos de poda urbana (RPU) em biocombustível				
	Biodigestão	Densificação	Gaseificação	Pirólise
Potencial de geração elétrica/anual	15,94 MWh/ano	29,97 MWh/ano	54,6 MWh/ano	46,8 MWh/ano
Potencial de geração elétrica/horário	60,38 kW	113,52 kW	206,82 kW	177,27 kW
Tecnologia de conversão de biocombustíveis em energia elétrica				
	Motores Stirling	Gaseificadores e motores alternativos	Células a combustível	Gaseificador e microturbina a gás
Custo-US\$/kW	3.059	1.835	4.589	3.824
Custo de implantação (R\$) por tecnologias de conversão de RPU em energia elétrica				
	Motores Stirling	Gaseificadores e motores alternativos	Células a combustível	Gaseificador e microturbina a gás
Custo (R\$)	2.855.662	1.713.395	4.283.484	3.569.573
Payback simples (anos) por tecnologias considerando custo médio com energia no ano de 2021 da ordem de R\$1,21 kWh				
	Motores Stirling	Gaseificadores e motores alternativos	Células a combustível	Gaseificador e microturbina a gás
Biodigestão	49,35	29,61	74,03	61,69
Densificação	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica	Não se aplica
Gaseificação	14,41	8,64	21,61	18,01
Pirólise	16,81	10,09	25,21	21,01

CONCLUSÕES

Das tecnologias avaliadas, a produção de pellets se apresenta como uma alternativa potencial, sobretudo, pela redução do volume de resíduos gerados, diminuição da logística atualmente empregada e possibilidade de armazenamento de energia para aplicação futura.

Apesar da significativa produção de resíduos de poda e de manutenção do campus, a economia gerada pelo

aproveitamento energético desses resíduos (entre 1,1% e 3,8%) demonstrou-se financeiramente inviável devido aos investimentos necessários para implementação das tecnologias de conversão. Porém, é importante ressaltar que este trabalho buscou avaliar somente os resíduos que poderiam ser mensurados e para os quais possuíam formas de registro. No entanto, há um volume significativo de resíduos florestais de maior monta, que não foram aqui contabilizados. Ainda, além dos resíduos de poda, o Campus gera volume significativo de resíduos orgânicos na forma de restos de alimentos, papéis, serragens, maravalhas e outros resíduos que poderiam incrementar significativamente a produção energética sobretudo pela rota de gaseificação ou mesmo pelo sistema de biodigestão.

Os volumes de resíduos avaliados neste estudo, não se demonstraram suficientes para justificar financeiramente a implantação de sistemas de conversão dos resíduos gerados em energia no Campus em análise, no entanto, este estudo colabora como ponto de partida para que instituições de ensino percebam o potencial energético contido em seus resíduos, e busquem oportunidades e incentivos para que o meio acadêmico desenvolva novos e inovadores projetos para o aproveitamento energético dos resíduos sólidos.

Sugere-se a análise de aproveitamento energético utilizando todos os resíduos gerados pelo local. A economia gerada pela utilização da energia de resíduos é outro ponto a ser estudado.

Outros estudos poderiam avaliar processos como a compostagem e biodigestão, os quais com manejo adequado e buscando novas técnicas para aceleração dos processos, propiciariam a produção de composto orgânicos, no caso da compostagem e energia e compostos orgânicos no caso da biodigestão, desta forma, os resíduos deixariam de ser um passivo ambiental para se tornar um ativo financeiro.

Por fim, um estudo passível de realização é a da mitigação de emissões de gases de efeito estufa pelo aproveitamento energético dos resíduos gerados pelo campus, já que atualmente os resíduos são dispostos em locais da própria universidade e em aterros sanitários.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que de maneira direta ou indireta colaboraram para o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. **Política Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BRIDGWATER, A.V.; BRIDGE, S.A. A review of biomass pyrolysis and pyrolysis technologies. **Biomass Pyrolysis Liquids Upgrading and Utilization**, p.11-92, 1991.

COELHO, S.T. et al. **Atlas de bioenergia do Estado de São Paulo**. 1.ed. São Paulo: 2020.

CORTEZ, L.A.B. et al. **Biomassa para energia**. 2.ed. Campinas: Unicamp, 2009.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **Balanco energético nacional**. 2021.

GARCIA, D.P. et al. Caracterização energética de pellets de madeira. **Congresso de Bioenergia**, n.7, p.6, 2012.

JAHIRUL, M.I. et al. Biofuels production through biomass pyrolysis- A technological review. **Energies**, v.5, n.12, p.4952-5001, 2012.

JANONE, L.; BARRETO, E. **Risco de apagões no Brasil é maior entre outubro e novembro, dizem pesquisadores**. 2021. Disponível em: <https://www.cnnbrasil.com.br/nacional/risco-de-apagoes-no-brasil-e-maior-entre-outubro-e-novembro-dizem-pesquisadores/>

MORAIS, A.S. et al. Quantificação e qualificação de produtos gerados no processo Ondatec de produção de carvão vegetal por micro-ondas. **36º Seminário de Balanços Energéticos Globais e Utilidades e 30º Encontro de Produtores e Consumidores de Gases Industriais**, p.107-115, 2017.

NASCIMENTO, M.C.B. et al. Estado da arte dos aterros de resíduos sólidos urbanos que aproveitam o biogás para geração de energia elétrica e biometano no Brasil. **Engenharia Sanitaria e Ambiental**, v.24, n.1, p.143-155, 2019.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. 2.ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

PETRICOSKI, S.M. **Briquetes produzidos com mistura de podas urbanas, glicerina e resíduos de processamento de mandioca**. 2017, p.83. (Dissertação de mestrado).

SILVA, D.P. **Avaliação do processo de adensamento de resíduos de poda de árvore visando ao aproveitamento energético: o caso do campus da USP na capital**. 2016, p.124. (Dissertação de mestrado).

TOLMASQUIM, M.T. **Energia renovável: hidráulica, biomassa, eólica, solar, oceânica**. 1.ed. Rio de Janeiro: Empresa de Pesquisa Energética (EPE), 2016.

Recebido em 23-05-2022 Aceito em 04-07-2022