

AVALIAÇÃO TECNOLÓGICA DA BIOMASSA RESIDUAL DE PUPUNHEIRA PARA A PRODUÇÃO DE BIOENERGIA

SANDRA LUCIA SOARES MAYER¹, RUDSON SILVA OLIVEIRA¹, FERNANDO AUGUSTO FERRAZ¹, IVAN CRESPO SILVA¹, DIMAS AGOSTINHO DA SILVA¹

¹Departamento de Engenharia e Tecnologia Florestal, Universidade Federal do Paraná, Avenida. Prefeito Lothário Meissner, 632, Jardim Botânico, CEP: 80210-170, Curitiba/PR, Brasil. E-mail: sandra.lsmayer@gmail.com, rudsonoliveirapbs@gmail.com, fernangusto@yahoo.com.br, ivancresposilva@gmail.com, dimas.agostinho.silva@gmail.com.

RESUMO: A elevada geração de material orgânico na produção e beneficiamento do palmito, demanda uma gestão adequada dessa biomassa destinando-a para uma utilização eficaz e sustentável. Neste sentido, esta pesquisa teve como objetivo caracterizar a biomassa residual de *Bactris gasipaes* Kunth (Pupunheira), proveniente do corte do palmito no litoral do Paraná (PR) para a produção de bioenergia. O estudo foi desenvolvido na estação experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR – EMATER (IDR – Paraná) no município de Morretes-PR. Para a realização do trabalho foram selecionadas três plantas já no ponto para o corte do palmito, que foram cortadas e separadas em estipe, folhas e palmito com bainha. Nas amostras foram determinadas teor de umidade, densidade básica, poder calorífico superior e inferior, análise química imediata, componentes estruturais da biomassa (teores de holocelulose e lignina), teor de extrativos e Índice de Valor Combustível (IVC). A biomassa residual seca foi de 20.065 kg ha⁻¹ ano⁻¹, tendo as folhas a maior representatividade (55,51%). Os resultados indicaram que a amostra estipe apresentou maior IVC, sugerindo que este material é o mais indicado para uso energético, porém não excluindo as folhas que apresentaram resultados potenciais para seu uso na geração de energia.

Palavras-chave: *Bactris gasipaes*, energia de biomassa, poder calorífico, índice de valor combustível.

TECHNICOLOGICAL EVALUATION OF WASTE BIOMASS OF PUPUNHEIRA FOR BIOENERGY PRODUCTION

ABSTRACT: The high generation of organic material in the production and processing of palm heart demands an adequate management of this biomass, destining it to efficient and sustainable use. In this sense, this research characterized the residual biomass of *Bactris gasipaes* Kunth (Pupunheira), from the heart-of-palm harvesting on the coast of Paraná (PR) for the production of bioenergy. The study was developed at the experimental station of the Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná - IAPAR - EMATER (IDR - Paraná) in the city of Morretes-PR. For executing the work, three plants were selected at the cut point of the heart-of-palm, which were cut and separated in stipe, leaves and palm heart with a sheath. The moisture content, clear density, gross and net heat value, proximate analysis, structural components of the biomass (holocellulose and lignin contents), extract content and Fuel Value Index (FVI) was determined. The residual dry biomass was 20,065 kg ha⁻¹ year⁻¹, with leaves representing (55.51%). The results indicated that the stipe sample with the highest FVI suggests that this material is the most suitable for energy use, but not exclude, the leaf potential for their use in energy generation.

Keywords: *Bactris gasipaes*, energy biomass, heat value, fuel value index

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é destaque pela produção agrícola e florestal e com isso há grande geração de resíduos lignocelulósicos nestes processos produtivos. A valorização energética destes materiais pode ser uma alternativa para a descentralização e consolidação de uma matriz energética nacional limpa e ambientalmente adequada (FARIA et al., 2016).

A biomassa residual gerada em cultivos agrícolas e florestais nem sempre tem suas características conhecidas, e por isso o aproveitamento pouco eficiente deste material. Ressalta-se a importância de pesquisas sobre potenciais usos de biomassas lignocelulósicas, sendo a geração de energia uma possibilidade de uso.

A área de cultivo da *B. gasipaes* no Brasil teve um crescimento importante, principalmente devido ao fato de ser uma espécie com capacidade de perfilhamento (rebrotar). Essa característica é uma das mais desejadas pelos produtores de palmito, pois aumenta a produção e dispensa a implantação de novos plantios por um longo período. A possibilidade de colheitas frequentes propicia renda constante e a diluição dos custos com a cultura (PENTEADO JUNIOR; SANTOS; NEVES, 2010).

No cultivo de palmeiras para produção de palmito é necessário cortar a planta inteira para realizar sua colheita, ou seja, a maior parte da planta (entre 90 a 95%) é descartada, gerando assim grande quantidade de biomassa que permanece em campo como resíduo que atualmente não tem destinação, o acúmulo desse material pode acarretar problemas para o produtor, como dificuldades de manejo das touceiras e das plantas, no replantio e nas colheitas sequenciais.

Após a retirada do palmito, as folhas, bainhas e partes do estipe são descartados como resíduo de lavoura ou são aproveitados parcialmente na alimentação animal (MORAES, 2011). Os resíduos gerados na agroindústria de beneficiamento do palmito, bainhas ou capas, são descartados e depositados em locais inadequados e quando não aproveitados se tornam um problema ambiental (GARCIA et al., 2011).

Na década de 1990 iniciou-se o cultivo de *B. gasipaes* no Estado do Paraná com objetivo de produção para palmito, visando aumentar a produtividade deste produto além de contribuir para mitigar o processo extrativista da *Euterpe edulis* Mart. (Juçara). O cultivo de pupunheiras cresceu significativamente a partir do ano 2000 no Paraná, pois muitos produtores que possuíam outras culturas tradicionais como principal fonte de renda, passaram a cultivá-la inicialmente para produzir o palmito como um complemento na renda familiar, porém o aceite do produto no mercado motivou alguns produtores a investirem na *B. gasipaes* como sua principal cultura.

Neste cenário, destaca-se a importância de pesquisas para conhecimento das características de biomassas lignocelulósicas, a fim de melhorar seu aproveitamento e mitigar os passivos ambientais decorrente da grande produção de resíduos em atividades florestais, agrícolas e industriais.

Portanto, sob a hipótese de que a biomassa residual proveniente da colheita de palmito pupunha apresenta qualidade para uso bioenergético; esta pesquisa teve como objetivo caracterizar a biomassa da espécie *Bactris gasipaes* Kunth (Pupunheira) oriunda de cultivos na região do litoral do Estado do Paraná (PR) para produção de bioenergia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

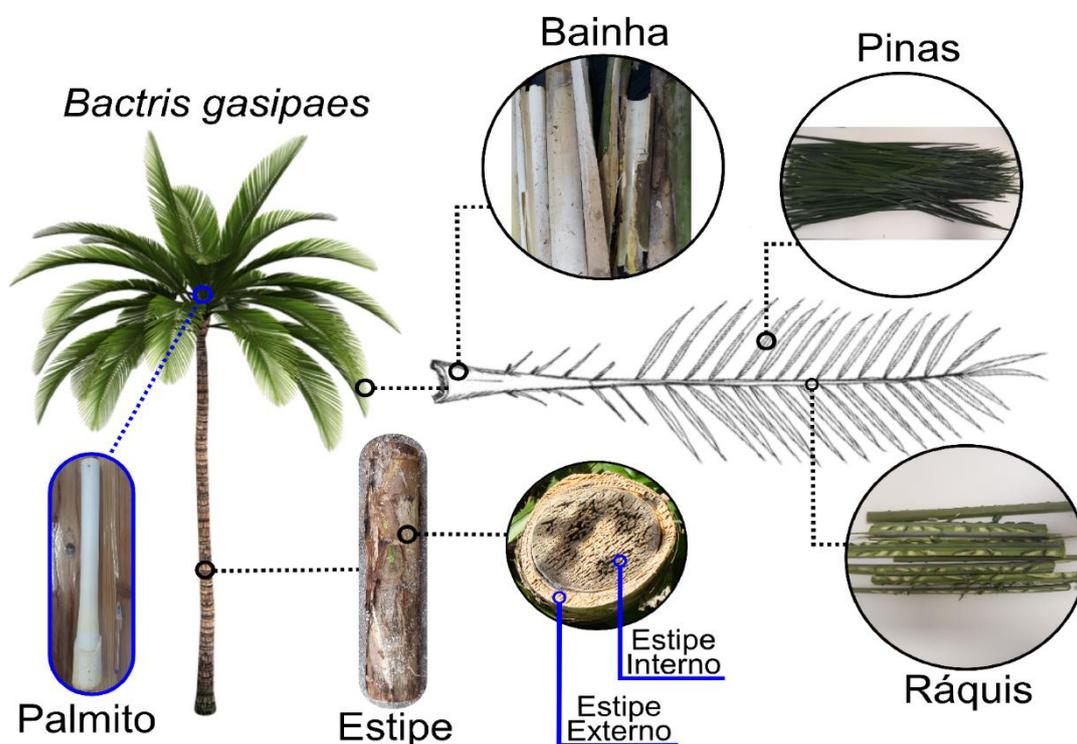
O estudo foi desenvolvido na estação experimental do Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER (IDR – Paraná) coordenadas 25°30'36" S e 48°48'37" W, no município de Morretes, pertencente a mesorregião geográfica metropolitana de Curitiba, Estado do Paraná. Segundo a classificação de Köppen a região apresenta clima Cfa (quente e temperado), com temperatura média anual de 21,3 °C e pluviosidade média anual de 1.984 mm.

Foram selecionadas três (3) plantas de *B. gasipaes* que se encontravam no ponto de corte do palmito. As palmeiras foram cortadas e separadas em componentes: estipe, folhas e palmito com bainha, os quais foram pesados em campo para obtenção da massa verde. A

amostra de folha foi subdividida em ráquis, bainha e pinas para a realização das análises, o

estipe foi dividido em estipe E (parte externa) e estipe I (parte interna) (Figura 1).

Figura 1. Divisão de *Bactris gasipaes* em componentes



O teor de umidade e de matéria seca do material foram determinados conforme a norma NBR 14929 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2017), onde o material é seco em estufa a 100 ± 3 °C. A densidade básica do material foi determinada de acordo com a NBR 11941 (ABNT, 2003) pelo método de balança hidrostática. A determinação dos teores de umidade, matéria seca e densidade básica foi realizada nos discos inteiros dos estipes, após a secagem do material os discos foram divididos em parte externa (estipe E) e parte interna (estipe I). O procedimento foi realizado após a secagem porque a divisão do córtex é mais visível, tornando-se mais fácil a preparação do material.

A análise química imediata determina os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas, e foi realizada conforme a D1762-84 American Society for Testing and Materials (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2013a). A análise química macromolecular determina os teores de extrativos, lignina total e holocelulose. Para a determinação da análise química

macromolecular foi utilizada amostra composta das três plantas.

A determinação dos extrativos foi realizada utilizando três (3) sistemas de solventes, na primeira etapa foi utilizado solução de Etanol:Tolueno (1/2) (v/v) por um período de 8 h, a segunda etapa foi realizada utilizando Etanol (95%) por um período de 6 h baseadas na norma D1107-96 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS, 2013b). Na terceira etapa a extração foi feita por solubilidade em água quente, onde a amostra foi transferida para um Erlenmeyer de 250 mL e adicionado 100 mL de água destilada, permanecendo em banho-maria por um período de 3 h a 96 °C. O material foi filtrado em cadinho de vidro sinterizado e seco em estufa (105 °C) até massa constante. Os resultados do teor de extrativos foram expressos em base seca.

A determinação da lignina insolúvel (LI) foi realizada pela hidrólise ácida conforme a norma T222 om-15 da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER

INDUSTRY, 2015). Os sólidos foram lavados com água destilada até pH neutro e as soluções dos hidrolisados foram reservadas para a determinação de lignina solúvel (LS), de acordo com a norma NBR 16550 (ABNT, 2018). O espectrofotômetro UV-vis Shimadzu UV-1800 foi utilizado para determinar as absorvâncias nos comprimentos de onda (215 e 280 nm), a concentração de lignina solúvel no hidrolisado (C_{LS}) foi calculada pela equação 1, o teor de lignina solúvel foi obtido pela equação 2. A lignina total (LT) foi calculada pela soma dos teores de lignina insolúvel e solúvel.

$$C_{LS} = \left[\frac{(4,53 \cdot A_{215}) - A_{280}}{300} \right] \cdot fd_{LS} \quad (1)$$

$$LS = \left(\frac{C_{LS} \cdot V}{M_{lex}} \right) \cdot \left[1 - \left(\frac{Et}{100} \right) \right] \cdot 100 \quad (2)$$

C_{LS} = Concentração de lignina solúvel no hidrolisado ($g L^{-1}$); A_{215} = Valor da absorvância no comprimento de onda 215 nm; A_{280} = Valor da absorvância no comprimento de onda 280 nm;

fd_{LS} = Fator de diluição da alíquota do hidrolisado; LS = Lignina solúvel (%); V = Volume do hidrolisado (L); M_{lex} = Massa da amostra livre de extrativos (g); Et = Teor de extrativos (%).

O teor de holocelulose foi calculado a partir das diferenças dos teores de extrativos totais, de lignina total e cinzas, segundo a equação 3.

$$HOLO = 100 - (LT + EXT + CZ) \quad (3)$$

Em que: HOLO = teor de holocelulose (%); LT = lignina total (%); EXT = teor de extrativos (%);

CZ = teor de cinza (%).

A determinação do poder calorífico superior foi realizada com o uso de bomba calorimétrica IKA WERKE C5000 de acordo com a normativa ISO 18125:2017 da *International Organization for Standardization* (INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION, 2017). O poder calorífico inferior e o poder calorífico inferior na umidade recebida foram calculados a partir

da equação 4 e da equação 5, o teor de hidrogênio (H) utilizado nos cálculos foi considerado o valor de 6% comumente utilizado para biomassas (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2008).

$$PCI = PCS - 0,206 \cdot H \quad (4)$$

$$PCU = PCI \cdot \left(\frac{100 - TU_{bu}}{100} \right) - (0,0231 \cdot TU_{bu}) \quad (5)$$

Em que: PCI = Poder calorífico inferior ($MJ kg^{-1}$); PCS = Poder calorífico superior ($MJ kg^{-1}$); H = Teor de hidrogênio (%); PCU = Poder calorífico inferior na umidade recebida ($MJ kg^{-1}$);

TU_{bu} = Teor de umidade na base úmida (%).

O índice de valor combustível (IVC) da biomassa residual foi calculado segundo a equação 6.

$$IVC = \frac{(db \cdot PCS)}{(CZ \cdot Ubu)} \quad (6)$$

Em que: IVC = Índice de valor combustível; db: Densidade básica do material ($g cm^{-3}$); PCS: Poder calorífico superior ($MJ kg^{-1}$); CZ: Teor de cinza ($g g^{-1}$); Ubu: Teor de umidade na base úmida ($g g^{-1}$).

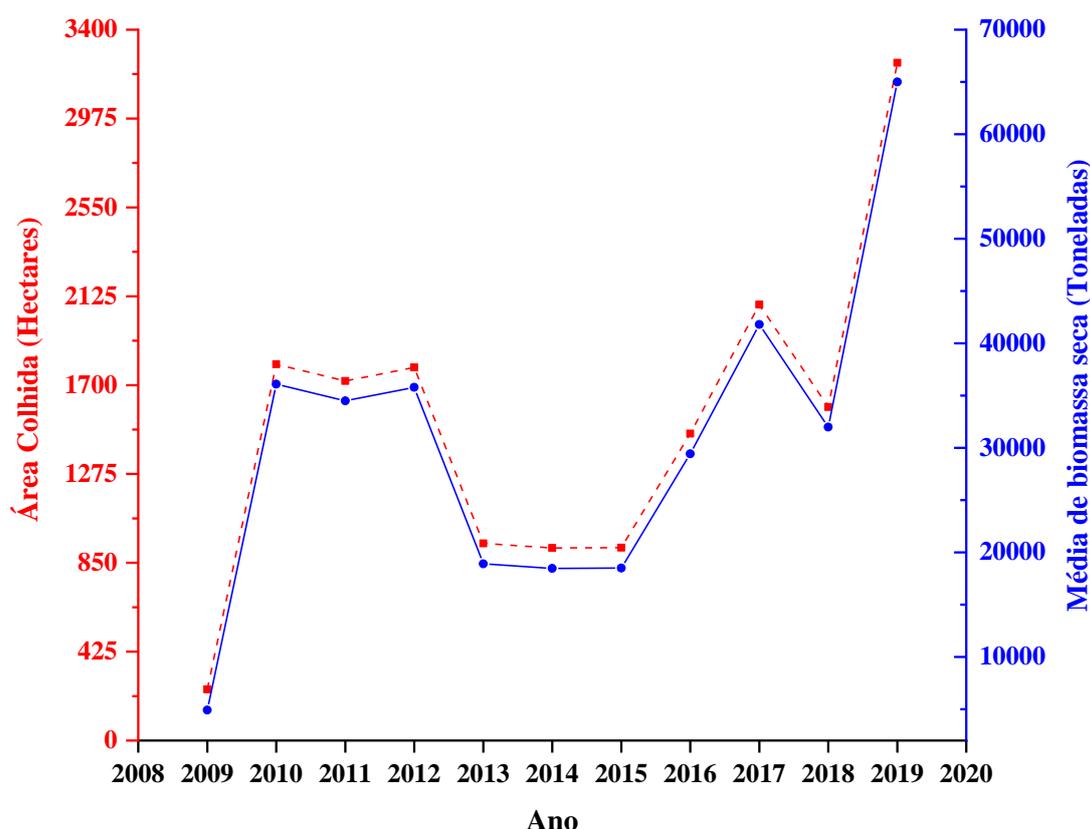
As análises estatísticas foram realizadas utilizando o *software* R versão 3.6.0 (R CORE TEAM, 2019) pacote “*ExpDes.pt*” (FERREIRA; CAVALCANTI; NOGUEIRA, 2018) o experimento foi avaliado em delineamento inteiramente casualizado em que se aplicou o teste F a 95% de probabilidade e quando constatada a diferença significativa, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância para comparação múltipla das médias. A normalidade dos resíduos foi realizada pelo teste de Shapiro-Wilk ($p \leq 0,05$), e a homogeneidade das variâncias pelo teste de Levene ($p \leq 0,05$), as variáveis que não atenderam um dos requisitos para realização da ANOVA foram transformadas para adequação das premissas da análise de variância. A análise macromolecular (extrativos, lignina e holocelulose) foi aplicado teste de Kruskal-Wallis ($p \leq 0,05$), estatística não paramétrica, devido ao número reduzido de amostras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

O valor médio de biomassa residual verde por planta foi de 16,72 kg e de biomassa residual seca de 4,01 kg. O espaçamento mais utilizado na região do estudo no cultivo da pupunheira para produção de palmito é de 1 x 2 m, totalizando 5.000 plantas por hectare. Considerando este espaçamento e a colheita

sendo realizada a cada 12 meses, é possível inferir que a produção de biomassa residual verde é de 83.608 kg ha⁻¹ ano⁻¹, correspondendo a 20.065 kg ha⁻¹ ano⁻¹ de biomassa residual seca. A Figura 2 apresenta a área colhida de palmito nos últimos dez anos na região do litoral do Paraná, bem como a média de biomassa residual seca produzida na colheita.

Figura 2. Área colhida de palmito no litoral do Paraná e produção de biomassa residual seca no período de 2009 a 2019

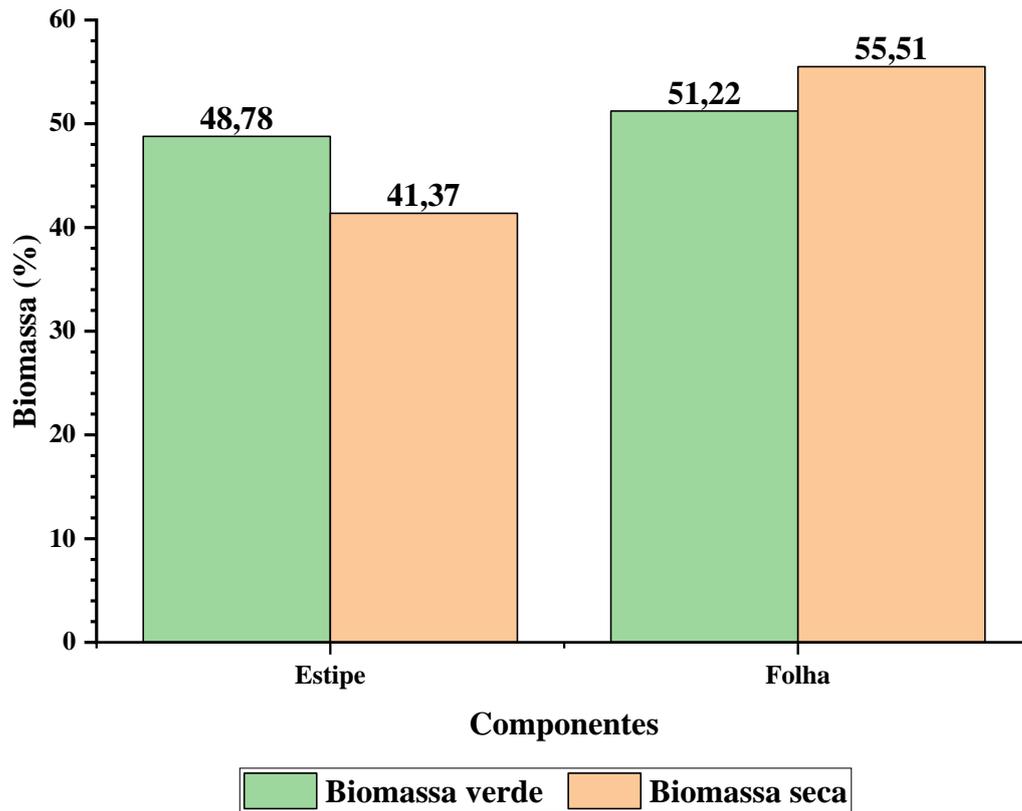


Fonte: Baseado no IBGE (2020)

Considerando a média de produção de biomassa residual por hectare encontrada neste trabalho, a média produzida foi de 30.489 ton ha⁻¹ ano⁻¹. O litoral do Paraná é composto pelos municípios de Antonina, Guaraqueçaba, Guaratuba, Matinhos, Morretes e Pontal do Paraná, juntos contribuíram com 94,2% do total em área colhida de palmito no Paraná em 2019. O município de Morretes foram colhidos 660

hectares de palmito em 2019, representando 19,2% da área total colhida no estado do Paraná (IBGE, 2020). A área colhida de palmito é crescente ao longo do tempo no Paraná, consequentemente a quantidade produzida de biomassa residual também aumenta, tendo o componente folha a maior representatividade na biomassa verde e seca (Figura 3).

Figura 3. Representatividade dos componentes estipe e folha na biomassa verde de *Bactris gasipaes*



A análise de variância indicou diferenças significativas ao nível de 5% para todas as variáveis analisadas utilizando

estatística paramétrica, as diferenças observadas obtidas pelo teste de Tukey são apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Efeito do fator componente nas variáveis umidade, densidade básica, poder calorífico superior, poder calorífico inferior, poder calorífico inferior na umidade recebida, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas.

Variável	Componente				
	Ráquis	Bainha	Pinas	Estipe (E)	Estipe (I)
Umidade (%)	74,59 c (1,5)	81,74 a (2,3)	58,38 d (1,7)		79,40 b (0,99)
Massa seca (%)	25,41 b (1,5)	18,26 d (2,3)	41,62 a (1,7)		20,60 c (0,99)
Db (g cm ⁻³)	0,205 a (0,01)	0,134 c (0,01)	0,179 b (0,01)		0,174 b (0,02)
PCS (MJ kg ⁻¹)	18,28 b (0,19)	17,71 c (0,23)	19,59 a (0,38)	17,57 c (0,19)	16,93 d (0,16)
PCI (MJ kg ⁻¹)	18,15 b (0,19)	17,57 c (0,23)	19,45 a (0,38)	17,43 c (0,19)	16,79 d (0,16)
PCU (MJ kg ⁻¹)	2,85 b (0,17)	1,22 d (0,39)	6,78 a (0,24)	1,71 c (0,23)	1,58 cd (0,19)
MV (%)	72,78 b (0,53)	72,85 b (1,12)	73,69 b (0,54)	76,61 a (1,64)	77,86 a (0,36)
CF (%)	23,75 a (0,68)	23,31 a (0,72)	22,14 b (0,40)	21,48 bc (1,1)	20,67 c (0,40)
CZ (%)	3,47 b (0,40)	3,84 ab (0,54)	4,17 a (0,23)	1,90 c (0,56)	1,47 c (0,09)

*Médias seguidas da mesma letra na linha, não diferem estatisticamente entre si ao nível de 95% de probabilidade. Valores entre parênteses correspondem ao desvio padrão.

O componente que apresentou o maior teor de umidade foi a bainha e conseqüentemente o menor teor de matéria seca, segundo Mckendry (2002), duas formas de teor de umidade são de interesse na biomassa, umidade intrínseca (sem a influência dos efeitos climáticos), e extrínseca (as condições climáticas, principalmente durante a colheita influenciam na biomassa). Há uma relação direta entre o teor de umidade e a tecnologia de conversão em energia, pois na conversão térmica exige-se baixo teor de umidade da matéria-prima (em geral < 50%).

A realização da colheita em épocas com baixa umidade relativa, a secagem da biomassa utilizando por exemplo uma estufa solar, tendo em vista que é uma tecnologia eficiente, de baixo custo e sustentável, podem ser alternativas eficazes e tornar a biomassa residual da *B. gasipaes* mais adequada para uso direto na obtenção de energia.

Os materiais estudados apresentaram baixos valores médios para densidade básica, indicando uma menor relação de massa seca por volume saturado devido ao elevado volume de

espaços vazios existentes na biomassa; portanto o elevado teor de umidade pode ter influenciado para os baixos valores encontrados para esta variável.

O poder calorífico superior é o calor liberado no processo de combustão em que toda a água resultante é condensada na forma líquida, o poder calorífico inferior devido ao calor latente para evaporação da água apresenta valores menores (EBERHARD, 1990). O poder calorífico inferior na umidade recebida leva em consideração o teor de umidade (base úmida) do combustível, a maior parte da energia liberada é utilizada para evaporar a água contida no material. As pinas apresentaram os maiores valores médios, a parte interna do estipe apresentou as menores médias para esta variável, assim como para o poder calorífico inferior.

Os resultados observados para PCS e PCI foram proporcionais ao teor de lignina, inferindo que estas variáveis foram afetadas por esta propriedade. O valor calorífico da lignina está entre 22,2 e 28,5 MJ kg⁻¹ que pode ser explicado pelo alto teor de carbono e pelas

diferenças na composição química dessa macromolécula em distintas biomassas (DEMIRBAS, 2017).

Os valores médios para PCS e PCI encontrados para os componentes de *B. gasipaes* estão próximos aos valores encontrados para clones de *Eucalyptus* estudados por (PROTÁSIO et al., 2019) onde encontraram valores médios de 19,40 MJ kg⁻¹ para PCS e 18,00 MJ kg⁻¹ para PCI. Os baixos valores médios encontrados para o PCU são devido aos altos valores encontrados para o teor de umidade, entretanto esta propriedade pode ser controlada, melhorando assim a quantidade de energia útil liberada pelos componentes da biomassa residual de *B. gasipaes* no processo de queima direta.

Na transformação termoquímica da biomassa em energia, altos teores de material volátil tornam a amostra altamente reativas (REZA et al., 2019). Um teor mais elevado indica que a biomassa pode ser facilmente inflamada e subsequentemente gaseificada ou oxidada. Estas informações podem auxiliar na regulação do equipamento e, conseqüentemente, estabelecer as características ideais para a queima da biomassa (LOH, 2017).

Os componentes das pupunheiras analisadas neste estudo apresentaram valores acima de 70% de material volátil, tendo destaque o estipe com as maiores médias para ambas as partes (interna e externa), indicando que este material se inflama mais facilmente que os demais. Materiais com elevados teores de carbono fixo tendem a queimar mais lentamente e requerem maior tempo de residência para a queima total, quando comparados com materiais com baixo conteúdo de carbono fixo (BRAND, 2010), isto pode ser explicado pela maior estabilidade térmica

proporcionada pelas cadeias de carbono. Inversamente aos teores de materiais voláteis, o estipe apresentou os menores valores médios para carbono fixo, indicando que este material queima mais rapidamente e em menor tempo que os demais materiais.

Clones de *Eucalyptus* estudados por (PROTÁSIO et al., 2019) apresentaram médias para teor de material volátil entre 81,6 e 84,0%, valores mais altos do que os encontrados para os componentes de *B. gasipaes* estudados. As médias para carbono fixo encontrados para os clones de *Eucalyptus* entre 15,8 e 18,2%, valores mais baixos do que os encontrado para os componentes de *B. gasipaes*.

O material inorgânico presente na biomassa não participa do processo de conversão térmica, é uma propriedade que assim como o teor de umidade tem influência negativa na liberação de energia. As partes que compõem a folha apresentaram elevados teores de cinzas, nas pinas foram observados valores superiores a 4%; sendo que a quantidade de material inorgânico encontrado pode estar relacionada com os nutrientes (macro e micro) presentes no solo que são essenciais para o desenvolvimento e crescimento das plantas.

As médias para o teor de cinzas dos componentes de *B. gasipaes* foram superiores aos encontrados para clones de *Eucalyptus*, onde foram encontrados valores inferiores a 0,30% (PROTÁSIO et al., 2019). Entretanto os valores encontrados para o bagaço de cana de açúcar estudado por Lu e Chen (2015) foram superiores (11,35%) aos valores médios dos componentes de *B. gasipaes*.

O teste de Kruskal-Wallis para as variáveis extrativos totais, lignina total e holocelulose não rejeita a hipótese nula de que as medianas são todas iguais, os valores médios podem ser observados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios para as variáveis extrativos totais, lignina total e holocelulose.

Variável	Componente					
	p - valor	Ráquis	Bainha	Pinas	Estipe (E)	Estipe (I)
Extrativos (%)	0,068	24,29	17,27	27,59	29,97	35,12
Lignina (%)	0,078	21,13	18,77	35,14	19,84	23,90
Holocelulose (%)	0,068	54,58	63,96	37,27	50,19	40,98

A parte interna do estipe apresentou maior média para teor de extrativos, possivelmente carboidratos de baixa massa molecular (açúcares), presentes na biomassa foram solubilizados nas diferentes etapas de extração, contribuindo assim para o elevado valor obtido. (LOPES; VAREJÃO; CRUZ, 1998) encontraram valores de extrativo total entre 15% (região externa) e 33% (região interna) em estipe de *Bactris gasipaes*, em plantas com diâmetros variando de 25 a 30 cm. Estes valores para a parte interna do estipe não diferenciam muito do que foi obtido neste trabalho. Já para a parte externa do estipe os valores encontrados foram menores do que os obtidos no presente estudo.

Ressalta-se que as pupunheiras analisadas por (LOPES; VAREJÃO; CRUZ, 1998) apresentavam diâmetros maiores que as palmeiras analisadas no presente estudo, indicando que as plantas eram mais velhas. Segundo Magellan, Tomlinson e Huggett (2015), em estipes jovens de espécies do gênero *Bactris*, as fibras vasculares são largas e longas, porém a parede celular torna-se progressivamente mais espessa, lamelada e lignificada, já as fibras não vasculares são curtas, estreitas e não lignificadas.

A bainha apresentou o maior valor para teor de holocelulose, os demais materiais apresentaram baixos valores para esta variável. Os baixos resultados para teor de holocelulose observados neste trabalho corrobora para a presença significativa de açúcares (monômeros) na composição da biomassa, contribuindo para um aumento no valor médio do teor de extrativos.

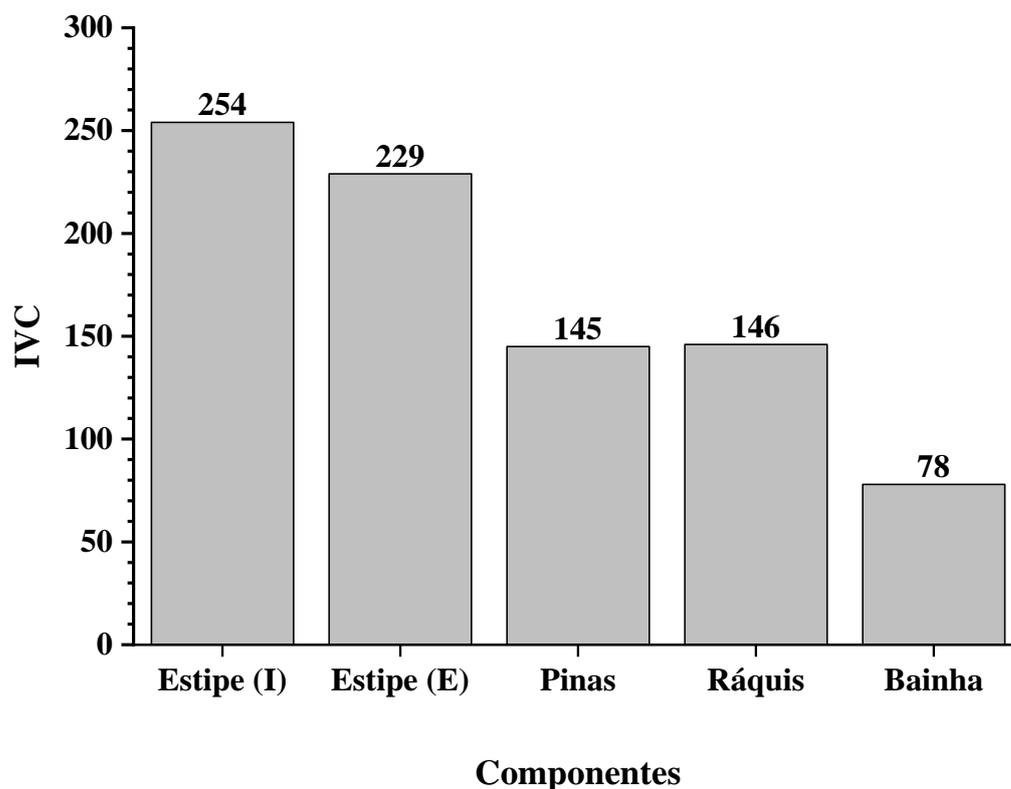
O conteúdo de lignina encontrado nos materiais estudados foi superior a 18%, com destaque para os componentes estipe interno e

pinas que apresentaram as maiores médias 23% e 34%, respectivamente. Esse resultado revela que a biomassa avaliada apresenta um percentual satisfatório de lignina indicando que a *B. gasipaes* apresenta um potencial para a produção de bioenergia, uma vez que a macromolécula de lignina possui cerca de 40% da energia disponível na biomassa devido ao elevado teor de carbono em sua estrutura (LIU; JIANG; YU, 2015).

A avaliação das propriedades químicas estruturais da biomassa é importante ao decidir a forma como será utilizada na obtenção de energia, como a queima direta ou a produção de carvão vegetal. Baixas concentrações de holocelulose, altos teores de lignina e extrativos estão associados a qualidade do carvão produzido e ao desempenho da biomassa no processo de combustão (MASSUQUE; ASSIS; TRUGILHO, 2020). Os baixos teores de holocelulose e altos teores de extrativos encontrados para os componentes de *B. gasipaes* sugerem um aumento na estabilidade e no desempenho dessas biomassas no processo de combustão.

O índice de valor combustível (IVC) é um índice de qualidade para ranqueamento do valor da biomassa para energia, pois contempla as variáveis, em princípio, positivas como o poder calorífico e a densidade, além das negativas como os teores de umidade e de cinzas (PUROHIT; NAUTIYAL, 1987; BHATT; TODARIA, 1992; JAIN; SINGH, 1999).

O estipe apresentou os maiores valores para IVC, analisando este parâmetro é correto afirmar que entre os materiais estudados o estipe possui as melhores características para obtenção de energia, como observado na Figura 4.

Figura 4. Índice de valor combustível (IVC) do componente de *Bactris gasipaes*

As variáveis que compõe o cálculo têm influência no IVC, por isso pode sofrer muitas variações. O poder calorífico superior, a densidade básica do material e o teor de cinzas são propriedades intrínsecas às diferentes biomassas e não podem ser manipulados, o teor de umidade é a única variável que pode ser controlada, quanto mais seco estiver o material, melhor será o resultado do índice de valor combustível (MAYER, 2016). A variável que mais afetou o IVC para os materiais analisados neste trabalho foi o teor de cinzas devido ao fato de os materiais inorgânicos não participarem da liberação de energia durante o processo de combustão.

4 CONCLUSÕES

- O estipe representa a maior parte da biomassa residual verde e a folha a maior parte da biomassa residual seca das pupunheiras analisadas;
- As pinas apresentaram maiores médias para o poder calorífico superior e para o teor de cinzas e inversamente o estipe apresenta as menores médias para as

mesmas variáveis. Indicando o estipe como melhor material para uso bioenergético, pois o teor de cinzas tem influência negativa na qualidade energética.

- De acordo com o IVC calculado, o estipe é o componente mais indicado para uso bioenergético;
- A biomassa residual da pupunheira apresenta características com potencial para uso bioenergético.

5 AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001 e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsas de estudo. Ao Instituto de Desenvolvimento Rural do Paraná – IAPAR – EMATER (IDR – Paraná) pelo fornecimento da área experimental e dos materiais biológicos para a pesquisa; ao Laboratório de Energia de Biomassa (LEB) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) pela infraestrutura disponibilizada para a realização das análises.

6 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1762-84**: Standard Test Method for Chemical Analysis of Wood Charcol. West Conshohocken: ASTM, 2013a.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D1107-96**: Standard Test Method for Ethanol-Toluene Solubility of Wood. West Conshohocken: ASTM, 2013b.

ABNT. **NBR 11941**: Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.

ABNT. **NBR 14929**: Madeira - Determinação do teor de umidade de cavacos - Método por secagem em estufa. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

ABNT. **NBR 16550**: Bagaço de cana - Caracterização química. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

BHATT, B. P.; TODARIA, N. P. Firewood characteristics of some mountain trees and shrubs. **Commonwealth Forestry Review**, Oxford, v. 71, n. 3-4, p. 183-185, 1992. DOI: 10.1016/0144-4565(90)90067-T. Disponível em: <https://www.jstor.org/stable/42608536>. Acesso em: 13 abr. 2021.

BRAND, M. A. **Energia de Biomassa Florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.

CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S.; GÓMEZ, E. O. **Biomassa para Energia**. Campinas: Unicamp, 2008.

DEMIRBAS, A. Higher heating values of lignin types from wood and non-wood lignocellulosic biomasses. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects**, Philadelphia, v. 39, n. 6, p. 592-598, 2017. DOI: 10.1080/15567036.2016.1248798. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15567036.2016.1248798>. Acesso em: 13 abr. 2021.

EBERHARD, A. A. Fuelwood Calorific Values in South Africa. **South African Forestry Journal**, Pretoria, v. 1, n. 152, p. 17-22, 1990. DOI: 10.1080/00382167.1990.9629014. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/00382167.1990.9629014>. Acesso em: 13 abr. 2021.

FARIA, W. S.; PROTÁSIO, T. P.; TRUGILHO, P. F.; PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; ANDRADE, C. R.; GUIMARÃESJUNIOR, J. B. Transformação dos resíduos lignocelulósicos da cafeicultura em. **Coffee Science**, Lavras, v. 11, n. 1, p. 137-147, 2016. Disponível em: <http://www.sbicafe.ufv.br:80/handle/123456789/8184>. Acesso em: 13 abr. 2021.

FERREIRA, E. B.; CAVALCANTI, P. P.; NOGUEIRA, D. A. **ExpDes.pt**: Pacote Experimental Desings (Portuguese) R package. Version 1.2.0., 2018. Disponível em: <https://CRAN.R-project.org/package=ExpDes.pt>. Acesso em: 13 abr. 2021.

GARCIA, V. A.; MODOLO, V. A.; LAGÔA, A. M. M. A.; NOMURA, E. S.; SÁES, L. A. Características do resíduo de mineração de areia como componente de substratos para a produção de mudas de pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth). **Revista Arvore**, Viçosa, v. 35, n. 3, p. 595-604, 2011. DOI: 10.1590/S0100-67622011000400003. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-67622011000400003&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 13 abr. 2021.

IBGE. **Produção Agrícola Municipal**. Tabela 1613. Rio de Janeiro: IBGE, 2020. Disponível em: <https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1613>. Acesso em: 16 out. 2020.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 18125:2017 Solid biofuels** - Determination of calorific value. Genebra: ISO, 2017.

JAIN, R. K.; SINGH, B. Fuelwood characteristics of selected indigenous tree species from central India. **Bioresource Technology**, Essex, v. 68, n. 3, p. 305-308, 1999. DOI: 10.1016/S0960-8524(98)00173-4. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852498001734>. Acesso em: 13 abr. 2021.

LIU, W. J.; JIANG, H.; YU, H. Q. Thermochemical conversion of lignin to functional materials: a review and future directions. **Green Chemistry**, Cambridge, v. 17, n. 11, p. 4888-4907, 2015. DOI: 10.1039/c5gc01054c. Disponível em: <https://doi.org/10.1039/C5GC01054C>. Acesso em: 13 abr. 2021.

LOH, S. K. The potential of the Malaysian oil palm biomass as a renewable energy source. **Energy Conversion and Management**, Oxford, v. 141, p. 285-298, 2017. DOI: 10.1016/j.enconman.2016.08.081. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890416307555>. Acesso em: 13 abr. 2021.

LOPES, A. P.; VAREJÃO, M. J. C.; CRUZ, I. A. Composição química do estipe e tecido esponjoso pupunha. In: JORNADA DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DO INPA, 7., 1998, Manaus. **Anais [...]**. Manaus: INPA, 1998. p. 132-135.

LU, J.; CHEN, W. Investigation on the ignition and burnout temperatures of bamboo and sugarcane bagasse by thermogravimetric analysis. **Applied Energy**, London, v. 160, p. 49-57, 2015. DOI: 10.1016/j.apenergy.2015.09.026. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S030626191501096X>. Acesso em: 13 abr. 2021

MAGELLAN, T. M.; TOMLINSON, P. B.; HUGGETT, B. A. Stem anatomy in the spiny american palm *Bactris* (Arecaceae-Bactridinae). **Hoehnea**, São Paulo, v. 42, n. 3, p. 567-579, 2015. DOI: 10.1590/2236-8906-18/2015. Disponível em: http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2236-89062015000300567&lng=en&nrm=iso. Acesso em: 13 abr. 2021.

MASSUQUE, J.; ASSIS, P.; TRUGILHO, P. Characterization of Miombo species used by rural communities as fuelwood in Northern Mozambique. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects**, Philadelphia, v. 42, n. 23, p. 1-10, 2020. DOI: 10.1080/15567036.2020.1815910. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/15567036.2020.1815910>. Acesso em: 13 abr. 2021.

MAYER, S. L. S. **Dendroenergia de cinco espécies nativas do Niger no Sahel**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2016.

MCKENDRY, P. Energy production from biomass (part 1): Overview of biomass. **Bioresource Technology**, Essex, v. 83, n. 1, p. 37-46, 2002. DOI: 10.1016/S0960-8524(01)00118-3. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852401001183>. Acesso em: 13 abr. 2021.

MORAES, J. E. **Valor nutritivo e formas de utilização do resíduo de palmito de pupunha (*Bactris gasipaes*) para ruminantes**. Dissertação (Mestrado em Produção Animal Sustentável) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Nova Odessa, 2011.

PENTEADO JUNIOR, J. F.; SANTOS, Á. F.; NEVES, E. J. M. **Rentabilidade econômica do**

cultivo da pupunheira (*Bactris gasipaes* Kunth), destinada à produção de palmito no Litoral de Santa Catarina. Colombo: Embrapa Florestas, 2010. (Circular técnica, 195).

PROTÁSIO, T. P.; SCATOLINO, M. V.; ACC, D. A.; OLIVEIRA, A. F. C. F.; FIGUEIREDO, I. C. R.; ASSIS, M. R.; TRUGILHO, P. F. Assessing proximate composition, extractive concentration, and lignin quality to determine appropriate parameters for selection of superior eucalyptus firewood. **BioEnergy Research**, New York, v. 12, n. 3, p. 626-41, 2019. DOI: 10.1007/s12155-019-10004-x. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s12155-019-10004-x>. Acesso em: 13 abr. 2021.

PUROHIT, A. N.; NAUTIYAL, A. R. Fuelwood Value Index of Indian Mountain Tree Species. **International Tree Crops Journal**, Herts, v. 4, n. 2-3, p. 177-182, 1987. DOI: 10.1080/01435698.1998.9752984. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01435698.1998.9752984>. Acesso em: 13 abr. 2021.

R CORE TEAM. **R**: A language and enviromental for statistical computing. Viena: Foundation for Statistical Computing, 2019.

REZA, M. S.; AHMED, A. C.; W.; BAKAR, M. S A.; SHAMS, S.; SAIDUR, R.; ASLFATTAHI, A.; AZAD, A. Acacia holosericea: An Invasive Species for Bio-char, Bio-oil, and Biogas Production. **Bioengineering**, Basel, v. 6, n. 33, p. 1-16, 2019. DOI: 10.3390/bioengineering6020033. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/bioengineering6020033>. Acesso em: 13 abr. 2021.

TECHNICAL ASSOCIATION OF THE PULP AND PAPER INDUSTRY. **T 222 om-15 Acid-insoluble lignin in wood and pulp.** Peachtree Corners: TAPPI, 2015.