

ADUBAÇÃO FOSFATADA E INTERVALO DE COLHEITA NO POTENCIAL ENERGÉTICO DO RESÍDUO DA COLHEITA DA ERVA-MATE

Marcelino Breguez Gonçalves Sobrinho¹, Delmar Santin², Angélica de Cássia Oliveira Carneiro³, Eliziane Luiza Benedetti⁴, Nairam Félix de Barros⁵ e Ivar Wendling⁶

¹Graduando em de Engenharia Florestal – UFV, MG - BR; ²Eng. Florestal, Pós-doutorando em Ciências do Solo da UDESC, Lages, SC – BR, desantinflorestal@yahoo.com.br; ³Eng^a Florestal, Dr^a. Professora Adjunta Departamento de Ciências Florestais – UFV, MG – BR; ⁴Eng. Agrônoma, Dr^a. Professora do IFSC, Canoinhas, SC – BR; ⁵Eng. Florestal, PhD, Professor do Departamento de Solos – UFV, nfbarros@ufv.br. ⁶Eng. Florestal, PhD., Pesquisador da Embrapa Florestas, Colombo, PR – BR.

Resumo: O trabalho objetivou avaliar o potencial energético e o efeito da adubação fosfatada e intervalos de colheita em propriedades físicas e químicas do resíduo da colheita da erva-mate e do briquete produzido com esse. Os resíduos foram obtidos em ervais que receberam doses de 0 e 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅, com colheitas aos 12, 18 e 24 meses. Nesses resíduos e nos briquetes (produzidos a partir da fragmentação e compactação dos resíduos) avaliaram-se as propriedades físicas e químicas. O resíduo obtido de colheita com maiores intervalos apresentou maior densidade básica e poder calorífico superior. A colheita de 18 meses gerou resíduos para produção de briquetes com maior densidade energética. Conclui-se que o resíduo da colheita da erva-mate pode ser utilizado como fonte energética e que os briquetes produzidos com este resíduo apresentam propriedades energéticas adequadas, bem como, a adubação fosfatada não afeta o poder calorífico do resíduo da erva-mate.

Palavras-Chave: *Ilex paraguariensis*, poder calorífico, densidade aparente, energia renovável, briquete

PHOSPHATE FERTILIZATION AND HARVEST INTERVALS ON ENERGETIC POTENTIAL OF YERBA-MATE RESIDUES

Abstract: We studied the energetic potential and the effect of phosphorus fertilization and harvest intervals in physical and chemical properties of yerba mate harvested residue and its briquette production. The residues were obtained in plantation under application of 0 and 320 kg ha⁻¹ of P₂O₅, with harvests intervals of 12, 18 and 24 months. On these residues and briquettes (produced from the fragmentation and compaction of mate residues) we evaluated the physical and chemical properties. The residue obtained from longer harvest intervals showed higher basic density and high calorific power. The harvest of 18 months generated residue to produce briquettes with higher energetic density. We concluded that harvested residues of yerba mate can be used as an energy source and the produced briquettes with this residue have adequate energy properties as well as, the phosphorus does not affect the calorific power of the mate residues.

Keywords: *Ilex paraguariensis*, calorific power, apparent density, renewable energy

Introdução

Hoje, em maior ou menor intensidade, a maioria dos países estão promovendo ações para que as energias alternativas renováveis tenham participações significativas em suas matrizes energéticas. Motivação essa, diretamente relacionada à necessidade da redução do uso de derivados do petróleo como fontes energéticas. Apesar de ser uma das fontes energéticas mais antigas, a madeira sólida, briquetes, pellets ou mesmo resíduos particulados são uma forma importante de geração de energia para casas, indústrias e comércio. No setor florestal a energia também representa grande relevância econômica (Bowyer et al., 2003). Neste contexto, a cultura da erva-mate (*Ilex paraguariensis* St. Hil.) que ocorre predominantemente na região sul do Brasil, tem como produtos da colheita folhas e galhos finos para fins comerciais, e os galhos mais grossos, são considerados como resíduo da colheita. Para a maioria dos produtores o grande volume do resíduo de galhos torna-se um entrave na área, principalmente para as operações de limpeza e controles fitossanitários no erval. Apesar de o próprio produtor aproveitar

parte dessa biomassa como fonte de energia na própria propriedade (Santin, 2008), até o momento, ainda não se conhece o potencial energético do resíduo da colheita da erva-mate.

A produção de massa seca dos resíduos da erva-mate é muito variável, sendo desde 0,63 t ha⁻¹, quando o intervalo entre colheitas for de 12 meses (Santin et al., 2011) e, pode ultrapassar 20,00 t ha⁻¹ com intervalo de 24 meses entre colheitas (Santin, 2013). Na cultura da erva-mate a colheita pode ser realizada com podas anuais, ou com intervalo de 18 meses, sendo uma no inverno e outra no verão (Da Croce, 1997), mas, a maioria dos produtores a realizam no inverno a cada 24 meses. Mas, além do intervalo de colheita, a idade do erval e o nível tecnológico utilizado, principalmente o fator fertilização, atuam diretamente na produção de massa comercial e de resíduo na cultura da erva-mate.

A madeira para uso como energia, em geral deve apresentar elevada densidade, alto teor de lignina, elevado poder calorífico, baixa umidade e baixo teor de minerais (Barcellos et al., 2005). Qualidades essas que variam com a espécie (Quirino et al., 2004) e com práticas silviculturais (Barcellos et al., 2005). Neste sentido, o uso de fertilizantes, pode atuar de forma direta ou indireta no potencial energético da madeira. Em alguns experimentos, a adubação aumentou a densidade básica da madeira de *Eucalyptus saligna* e, conseqüentemente, o poder calorífico (Berger, 2000). Porém, essa mesma ação da fertilização com NPK em outras espécies de *Eucalyptus* não foi verificada, tendo, o aumento de energia por área em consequência da maior produção de massa de madeira (Vale et al., 2000). Considerando que quanto maior a densidade da madeira maior é seu poder calorífico, árvores mais velhas ou com diâmetros maiores tendem apresentar maior quantidade de madeira lignificada e com cerne, quando comparado a árvores jovens ou com menores diâmetros (Barcellos et al., 2005).

Dentre os vários tipos de biomassa de resíduos florestais há preferência em materiais particulados de características heterogêneas quanto às dimensões das partículas, mas que sejam passíveis de compactação. Os métodos de compactação de biomassa se caracterizam pela aplicação de esforços de compressão, resultando em um aumento de densidade. Paralelamente, pode ser realizado o aquecimento simultâneo à compressão, favorecendo maior resistência mecânica do produto compactado. As diferenças principais entre os métodos empregados são: intensidade da pressão de compressão, dimensões e forma do produto final, temperatura utilizada na compactação, tipo de insumo e a utilização ou não de ligantes adicionais (Rodrigues, 2010).

A produção de briquetes a partir de resíduos de madeira tem se mostrado viável em diversas indústrias florestais como forma de agregar valor a estes produtos. Através desse processo os resíduos são transformados em um produto com maior densidade energética, agregando maior valor econômico aos resíduos e minimizando os impactos ambientais gerados pela sua disposição inadequada (Rodrigues, 2010).

Com relação aos resíduos da colheita da erva-mate, observa-se que cada vez mais, a indústria exige matéria-prima com ramos mais finos, aumentando a quantidade de galhos grossos que fica no campo. Quando a colheita é efetuada com intervalos mais longos, como os de 24 meses, o volume de resíduo que sobra na lavoura é elevado (Campos, 1991; Santin, 2013). Portanto, conhecer a capacidade de gerar energia (Barcellos et al. 2005) a fim de estimar a viabilidade econômica do material e do produto é fundamental para validar essa nova fonte energética (Smeets e Fajj, 2009) e que atenda as exigências do mercado e dos consumidores. Diante do exposto, o trabalho teve como objetivo avaliar as propriedades físicas e químicas de briquetes, assim como, do resíduo utilizado na briquetagem oriundo de plantio de erva-mate submetido a adubação fosfatada e manejo de colheita.

Material e Métodos

O experimento foi instalado em janeiro de 2009 no Município de São Mateus do Sul - PR, localizado no segundo Planalto Paranaense, entre a longitude de 50°2'58'' O e latitude de 25°52'27'' S. No local, um Latossolo Vermelho-Escuro álico, apresentava alta acidez e baixa fertilidade (Tabela 1). Tabela 1. Teor de argila e propriedades químicas do solo de 0 a 20 cm de profundidade no local do experimento, São Mateus do Sul-PR

CO	Argila	pH	P	K	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Al ³⁺	H+Al	CTC _{pH7,0}	V	m
---	g kg ⁻¹ ---	H ₂ O	---	mg dm ⁻³ ---	-----	-----	cmol _c dm ⁻³ -----	-----	-----	-----	% -----
31,2	770	3,92	1,31	56,80	0,95	0,39	4,47	15,78	17,27	8,6	71,2

Extratores: Mehlich-1 (HCl 0,05 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 0,0125 mol L⁻¹): P e K e KCl (1 mol L⁻¹): Ca, Mg e Al.

Em 2001 foi realizado o plantio do erval no espaçamento 2 x 2 m utilizando-se mudas propagadas por sementes da região sem controle genético. Na área nunca foi realizada calagem e adubação mineral ou orgânica, sendo apenas cultivada aveia no inverno como adubação verde.

Testaram-se duas doses da fertilização fosfatada para colheitas realizadas com intervalos de 12, 18 e 24 meses. Utilizou-se como fonte o superfosfato triplo, sendo as doses de 0 e 320 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No momento da instalação do experimento aplicou-se superficialmente em área total 1 t ha⁻¹ de calcário dolomítico. Como fertilização corretiva de N e K aplicou-se 80 kg ha⁻¹ de N e K₂O, respectivamente nas fontes ureia e cloreto de potássio.

Os tratamentos foram arrançados no fatorial 3 x 2 em esquema de parcela subdividida, com três intervalos de colheita na parcela e duas doses de P₂O₅ na subparcela. Cada unidade experimental foi composta por 10 plantas úteis, com duas linhas de bordadura. Os tratamentos foram dispostos no delineamento blocos casualizados com cinco repetições.

A dose testada e a fertilização corretiva foram aplicadas de forma parcelada, sendo aplicadas, superficialmente na área da projeção da copa sem incorporação, sempre nos meses de janeiro e setembro. Para a colheita com intervalo de 12 meses as doses de P₂O₅ e a fertilização corretiva foram parceladas em duas vezes. Para as colheitas com intervalo de 18 e 24 meses as doses de P₂O₅ foram parceladas em três vezes e a fertilização corretiva em duas vezes (duas primeiras aplicações).

A colheita para os intervalos de 12, 18 e 24 meses foi realizada, respectivamente, em jan/2010, jul/2010 e jan/2011. O resíduo das colheitas no erval foi coletado e processado em laboratório, onde foram determinadas as propriedades físicas e químicas da biomassa.

A densidade básica dos galhos foi determinada pelo método de imersão em água, utilizando-se uma balança hidrostática, observando o volume deslocado e, assim determinando a densidade básica do resíduo de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

O poder calorífico superior das partículas foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. O teor de cinzas foi obtido em amostras de madeira, moídas e peneiradas a uma granulometria de, aproximadamente, 0,2 mm, seguindo os procedimentos preconizados na norma ABNT NBR 8112 (1983), para determinação do teor de matérias voláteis, cinzas e carbono fixo, em base seca. Para a produção dos briquetes, os galhos foram transformados em palitos e, posteriormente em partículas, onde foi realizada medida do comprimento e espessura de 50 partículas de cada amostra de briquete (Tabela 2).

Tabela 2. Valor médio de comprimento e espessura de 50 partículas utilizadas na fabricação de briquetes de amostras de galho grosso de erva-mate submetida a fertilização fosfatada e manejo de colheita, São Mateus do Sul – PR.

Intervalo de colheita	Dimensões de partículas (mm)	
	Comprimento	Espessura
Mês		
12	8,41	1,22
18	7,42	1,02
24	7,98	1,13

Os briquetes foram produzidos em briquetadeira de laboratório, Lippel modelo LB-32. Foram utilizadas as seguintes condições de briquetagem: temperatura de 120 °C, tempo de prensagem de 5 minutos e tempo de resfriamento de 5 minutos, com pressão de 1500 PSI. A massa utilizada para produção de cada briquete foi de 17 gramas e a umidade de equilíbrio higroscópico médio das partículas foi de aproximadamente 9 %, determinada de acordo com a norma ABNT NBR 9484 (1986).

A determinação da densidade aparente dos briquetes foi realizada através da pesagem e posterior imersão dos briquetes em mercúrio, obtendo-se o volume deslocado conforme o método da balança hidrostática, descrito por Vital (1984). Para a densidade energética é a quantidade de energia por unidade de volume de briquetes, o valor foi obtido através da multiplicação do poder calorífico superior e a densidade aparente dos briquetes, apresentada em kcal m⁻³.

Para a tomada de decisão quanto a produção e análises de briquetes inicialmente analisou-se o poder calorífico das amostras das doses testadas e aplicou-se a análise de variância. Como houve significância apenas para o fator intervalo de colheita os briquetes foram produzidos com a junção das

amostras das duas doses avaliadas para cada intervalo de colheita. Os dados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e Tukey ($P < 0,05$).

Resultados e Discussão

Propriedades dos resíduos (galhos grosso) da erva-mate

A fertilização fosfatada não alterou as variáveis analisadas nos resíduos de erva-mate gerado pelo galho grosso que sobra da colheita. Porém, a densidade básica e o poder calorífico do resíduo foram afetados quando a erva-mate foi colhida em diferentes intervalos de tempo (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios da densidade básica, teor de cinzas e poder calorífico do resíduo da colheita de erva-mate submetida a adubação fosfatada e manejo de colheita.

Intervalo de colheita	Densidade básica	Teor de cinzas	Poder calorífico superior
Meses	g cm^{-3}	%	kcal kg^{-1}
12	0,39b	3,94a	4.468b
18	0,41a	3,93a	4.558a
24	0,40ab	4,30a	4.550a
Média	0,40	4,05	4.525

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

Para a densidade básica em que galhos com 18 meses apresentaram maior densidade que os demais intervalos de colheita, esperava-se que, galhos com 24 meses apresentasse densidade igual ou superior ao intervalo de 18 meses. Normalmente madeira com maior idade, tende apresentar maior diâmetro, madeira mais lignificada e maior densidade básica do que madeira jovem (Barcellos et al., 2005). Neste trabalho, não se descarta a hipótese de que a erva-mate com intervalo de 18 meses, colhida em julho (inverno) e, a de 12 e 24 meses colhida em janeiro (verão) apresentassem no momento da colheita fases fisiológicas diferentes, em função da estação do ano. Assim, plantas colhidas no inverno estariam fisiologicamente menos ativas quanto às colhidas no verão, podendo ter manifestado alteração na densidade básica do galho.

O teor de cinzas é um parâmetro de suma importância quando da utilização da madeira e seus derivados para energia, pois o mesmo afeta negativamente o poder calorífico da biomassa, e aumenta a demanda de limpeza dos cinzeiros das fornalhas, bem como acarreta a corrosão de metais. Segundo Browning (1963) e Barcellos et al. (2005), o teor de cinzas na madeira corresponde em geral, menos que 1 %, base absolutamente seca. Os teores de cinza observados neste trabalho podem ser considerados como altos.

O poder calorífico superior apresentou diferença significativa em relação ao intervalo de colheita da erva-mate (Tabela 3). Os valores mínimos e máximos do poder calorífico observados neste trabalho foram, respectivamente de 4.550 e 4.468 kcal kg^{-1} , respectivamente em galhos com 18 e 12 meses de idade. No entanto, Barcellos (2007), cita a madeira com valores de poder calorífico em torno de 4.400 kcal kg^{-1} , sendo esse valor inferior aos obtidos neste trabalho. Esses resultados apontam que o resíduo de galho grosso da colheita de erva-mate apresenta potencial uso para fins energéticos.

Propriedades dos briquetes dos resíduos da erva-mate

A idade do galho grosso da erva-mate utilizado na briquetagem afetou significativamente a umidade e a densidade energética dos briquetes. Mas esse mesmo comportamento não foi verificado para a densidade aparente dos briquetes, quando esta em média foi de 1,00 g cm^{-3} (Tabela 4).

A superioridade na densidade energética para briquetes produzidos com galhos com idade de 18 meses, pode estar relacionado a maior capacidade de carga destes, quando comparado aos produzidos com massa de 12 e 24 meses de idade. Segundo Vilas Boas (2011), a densidade aparente dos briquetes é um parâmetro de extrema importância, pois define as condições de estocagem, armazenamento e transporte dos mesmos. É uma propriedade física que afeta diretamente a densidade energética, ou seja, refere-se à quantidade de energia disponível por unidade de volume dos briquetes. A maior densidade energética de briquetes produzidos de galhos com idade de 18 meses (Tabela 4), provavelmente seja decorrente da maior densidade básica do material utilizada em sua produção (Tabela 3).

Tabela 4. Densidade aparente, umidade e densidade energética dos briquetes produzidos com resíduo de erva-mate submetida a adubação fosfatada e colhida com diferentes intervalos de colheita.

Intervalo de colheita	Densidade aparente	Umidade	Densidade energética
Meses	g cm ⁻³	%	Gcal m ⁻³
12	0,98a	10,43a	4,37b
18	1,02a	10,03b	4,65a
24	0,99a	9,88b	4,43b
Média	1,00	10,11	4,48

Médias seguidas por letras diferentes diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de 5 % de probabilidade.

A densidade energética relaciona a quantidade de energia contida em um volume específico é um parâmetro para avaliar o potencial energético dos briquetes. Propriedade essa que está diretamente relacionada com a densidade dos briquetes e o poder calorífico das partículas. Ocorreu diferença significativa na densidade energética em relação ao intervalo de colheita devido a diferença significativa das médias do poder calorífico superior do resíduo.

O conhecimento da umidade de equilíbrio higroscópico dos briquetes é importante, principalmente na redução de custo com transporte. Além disso, a baixa umidade de equilíbrio higroscópico confere aos briquetes seu formato compactado e, conseqüentemente maior resistência. Reis et al. (2002) comenta que os briquetes com valores de umidade acima de 15 % podem comprometer a eficiência da sua combustão devido a relação entre poder calorífico e umidade. Além disto, o resíduo com umidade abaixo de 8 % e acima de 15 %, indica prejuízo ao empacotamento do material ou produzem um briquete sem estabilidade, desfazendo-se quando estocado ou transportado (Quirino et al., 2005). As médias da umidade dos briquetes diferiram significativamente entre si em relação ao intervalo de colheita. De acordo com os valores obtidos (Tabela 4), a umidade dos briquetes se apresentam nos parâmetros adequados.

Conclusões

O galho grosso, resíduo gerado na colheita da erva-mate pode ser utilizado como fonte de energia.

A adubação fosfatada não atua nas propriedades físicas e químicas relacionadas a energia da biomassa do galho grosso da erva-mate.

A idade atua na densidade básica e poder calorífico do galho grosso da erva-mate, assim como, na densidade aparente, umidade e densidade energética dos briquetes produzidos por este material.

Briquetes produzidos com o resíduo da erva-mate adubada com fósforo apresenta propriedades físicas e químicas desejáveis para a geração de energia.

Agradecimentos

A Agropecuária Vier Ltda e Baldo S.A. de São Mateus do Sul – PR; a Embrapa Florestas de Colombo – PR; o Departamento de Solos e ao Laboratório de Painéis e Energia da Madeira do Departamento de Engenharia Florestal, UFV – MG e, o CNPq, que juntos viabilizaram a execução do trabalho.

Referências

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. NBR 8633. 1984: carvão vegetal determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 12p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. NBR 9484. 1986: Compensado - Determinação do teor de umidade. Rio de Janeiro.

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. NBR 11941. 2003: Madeira: determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 6p.

Associação Brasileira de Normas Técnicas-ABNT. NBR 8112. 1983: Carvão vegetal – análise imediata. Rio de Janeiro, 6p.

- Barcellos, D.C. 2007. Caracterização do carvão vegetal através do uso de espectroscopia no infravermelho próximo. 140f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- Barcellos, D.C.; Couto, L.C.; Müller, M.D.; Couto, L. 2005. O estado-da-arte da qualidade da madeira de eucalipto para produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. *Biomassa e Energia*, 2(2):141-158.
- Bowyer, J.L.; Shmulsky, R.; Haygreen, J.G. 2003. *Forest Products and Wood Science: an introduction*. 3.ed. Backwell Publishing.
- Da Croce, D.M. 1997. Poda de erva-mate: novos métodos desenvolvidos pela EPAGRI. In: CONGRESSO SUL-AMERICANO DE ERVA MATE, 1.; REUNIÃO TÉCNICA DO CONE SUL SOBRE A CULTURA DA ERVA MATE, 2., 1997, Curitiba. Anais... Colombo: EMBRAPA/CNPQ, 351-357.
- Quirino, W.F.; Vale, A.T.; Andrade, A.P.A.; Abreu, V.L.S.; Azevedo, A.C.S. 2004. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. *Biomassa e Energia*, 1:173-182.
- Quirino, W.F., Vale, A.T. do, Andrade, A.P.A. de, Abreu, L.S.A., Azevedo, A.C. dos S. 2005. Poder calorífico da madeira e de materiais lignocelulósicos. *Revista da Madeira*. Edição (89):100-106.
- Reis, B. de O., Silva, I.T. da, Silva, M.O. da, Rocha, B.R.P. 2002. Produção de briquetes energéticos a partir de caroço de açaí. In: Encontro Energético Meio Rural. Campinas, Anais... CD-ROM.
- Rodrigues, V.A.J. 2010. Valorização energética de lodo biológico da indústria de polpa celulósica através da briquetagem. 117 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Santin, D.; Almeida, I.C.; Benedetti, E.L.; Greice, L.P.; Barros, N.F. 2011. Adubação fosfatada na disponibilidade de P e produção de erva-mate em plantio comercial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 33. Uberlândia, 2011. Anais... Uberlândia, UFU, 4p. CD-ROM.
- Santin, D. 2013. Produtividade e disponibilidade de nutrientes influenciadas pela calagem, adubação NPK e intervalos de colheita em erva-mate. 104p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Santin, D. 2008. Produtividade, teor de minerais, cafeína e teobromina em erva-mate adensada e adubada quimicamente. 114f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo), Universidade Federal do Paraná, Curitiba-PR.
- Smeets, E.M.W.; Faaij, A.P.C. 2009. The impact of sustainability criteria on the costs and potentials of bioenergy production: applied for case studies in Brazil and Ukraine. *Biomass and Bioenergy*, Amsterdam, 27:247-251.
- Vale, A.T.; Brasil, M.A.M.; Carvalho, C.M.; Veiga, R.A.A. 2000. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Acacia mangium* Willd em diferentes níveis de adubação. *Revista Cerne*, 6:83-88.
- Vilas Boas, M.A. 2011. Efeito do tratamento térmico da madeira para a produção de briquetes. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG.
- Vital, B.R. 1984. Métodos de determinação da densidade da Madeira. Viçosa-MG: SIF, 21p. (SIF, Boletim Técnico, 1).