**TRATAMENTO TÉRMICO DE RESÍDUOS DE PODA URBANA**

Eveline Trindade1, Maristela Furman2, Aline Bavaresco dos Santos3, Dilcemara Cristina Zenatti4, Adriana Ferla de Oliveira5

*1 Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Tecnóloga em Biocombustíveis*

*2Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Tecnóloga em Biocombustíveis*

*3Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Departamento de Engenharias e Exatas*

*4Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Departamento de Engenharias e Exatas*

*5Universidade Federal do Paraná, Setor Palotina, Departamento de Engenharias e Exatas*

*adrianaferla@ufpr.br*

**Resumo**

A poda de árvores no meio urbano se torna algo fundamental para o bom desenvolvimento das mesmas, aproveitamento da parte aérea e para que não ocorra disputa entre elas e as redes de eletricidade. A poda urbana também se configura como um resíduo que pode ser um passivo ambiental se descartada inadequadamente ou pode ser utilizada como um energético, e a incrementação de energia pode ocorrer por meio da pirólise, produzindo um coproduto mais energético. Diante da importância do aproveitamento desse resíduo para energia este trabalho buscou caracterizar por teor de umidade e análise imediata o resíduo de poda urbana do município de Palotina – PR, antes e depois do processo de torrefação. A torrefação foi conduzida nas temperaturas de 240, 260 e 280 °C e nos tempos de 1, 2 e 3 h. A temperatura e o tempo foram significativos e influenciaram positivamente o aumento do teor de carbono fixo e para o material volátil apenas a temperatura teve efeito significativo, o aumento da temperatura influi negativamente no percentual de material volátil. O teor médio de umidade foi elevado de 68,12 %. O ensaio 4 com temperatura de 280 °C e tempo de 3 h apresentou o maior teor de carbono fixo (63,13 %), menor teor de material volátil (32,74%) e rendimento gravimétrico (41 %), corroborando com os dados da literatura. Sendo assim, o resíduo de poda urbana pode quando submetido a torrefação tornar-se um coproduto de maior valor agregado e com características combustíveis mais interessantes e ainda minimizar os impactos ambientais do destino inadequado.

**Palavras-chave.**Biomassa. Coproduto. Pirólise. Torrefação. Energia.

**Introdução**

Os resíduos de poda são considerados grande parte dos resíduos gerados por uma cidade. Quando as implantações dos sistemas elétricos de distribuições e de arborizações são planejadas de formas independentes geram transtorno para os órgãos municipais, resultando disputas entre árvores e as redes de distribuição pelo mesmo espaço físico (CORTEZ *et. al*, 2008).

Para o bom desenvolvimento das árvores em espaços urbano a poda e a remoção são métodos essenciais, para que não ocorram problemas com o uso das vias públicas e o espaço aéreo das cidades (NOLASCO; MEIRA; GATTI, 2013).

Segundo Silva; Renofio e Margutti (2016), os resíduos de poda urbana na maioria das vezes são descartados em aterros, que ocasionam sérios problemas como de compactação, o material ocupa maior volume, consumindo espaço útil do aterro, reduzindo sua capacidade e ampliando seus custos operacionais.

 De acordo com Angelis et. al (2007) estes resíduos ainda têm sua utilização e reciclagem pouco praticada, mas com novas tecnologias que vem surgindo, esse quadro está mudando. Vários meios de se reutilizar e reciclar esses resíduos estão sendo utilizados.

A torrefação é um tratamento térmico da biomassa que produz um combustível com melhores características energéticas (RODRIGUES, 2009). Vidal e Hora (2011) relatam que “a torrefação é semelhante à pirólise, que produz o carvão vegetal, de modo que a madeira torrificada é um produto intermediário entre madeira seca e carvão vegetal” os mesmos autores descrevem que a torrefação muda as propriedades da biomassa volatilizando a hemicelulose, e a massa resultando em um material hidrofóbico.

 Diante do exposto o presente trabalho buscou caracterizar por teor de umidade e análise imediata e o resíduo de poda urbana do município de Palotina – PR, antes e depois do processo de torrefação.

**Material e Métodos**

De forma aleatória sem distinção de espécie ou origem do material, do monte de cavacos foram coletados 3 sacos de aproximadamente 2 kg que foram misturados e homogeneizados para produção de uma amostra composta de 1 kg.

Os procedimentos experimentais foram realizados no Laboratório de Química Orgânica da Universidade Federal do Paraná - Setor Palotina. A umidade do cavaco foi determinada pela norma TAPPI T-264 om-88. Em seguida o material foi seco em estufa a 105 °C e moído em moinho tipo Willey e selecionado em conjunto de peneiras 40/60mesh para realização da análise imediata seguindo a normativa ASTM D-3172 até D-3175 (ASTM, 1983) em duplicata, onde determinou-se os teores de carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV) e cinzas (CZ). O rendimento gravimétrico foi calculado segundo Protásio et al. (2012).

A torrefação do cavaco foi realizada em forno mufla segundo metodologia adaptada de ARIAS et al. 2007, o delineamento experimental é apresentado na Tabela 1.

Para a análise dos resultados obtidos no processo de torrefação dos cavacos de podas de árvores, utilizou-se um planejamento fatorial 21, em que foram consideradas variáveis independentes a temperatura (T (°C)) e o tempo (t(h)) de torrefação, cujos níveis são apresentados na Tabela 2.

Tabela 1. Fatores experimentais e variáveis codificadas do delineamento.

|  |  |
| --- | --- |
| Fatores Experimentais | Variáveis codificadas |
| -1 | 0 | +1 |
| T °C | 240 | 260 | 280 |
| t (h) | 1 | 2 | 3 |

Tabela 2. Planejamento fatorial.

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Ensaios |   | T °C |   |  t(h) |
| 1 | -1 | 240 | -1 | 1 |
| 2 | 1 | 280 | -1 | 1 |
| 3 | -1 | 240 | 1 | 3 |
| 4 | 1 | 280 | 1 | 3 |
| 5 | 0 | 260 | 0 | 2 |
| 6 | 0 | 260 | 0 | 2 |
| 7 | 0 | 260 | 0 | 2 |

Os resultados estatísticos foram obtidos utilizando-se o software STATISTICA TM (versão 8.0 da Star Soft, Inc).

 **Resultados e discussão**

Segundo o responsável pela empresa terceirizada que realiza o serviço, as árvores podadas no município são: sibipiruna, mangueira, canelinha, grevilha, ipê branco entre outras.

Os resultados encontrados para o teor de umidade e análise imediata são apresentados na Tabela 3 juntamente com dados da literatura. Verifica-se que a umidade varia, uma vez que esta depende do tempo de picagem, estocagem, espécies etc, O trabalho de Petricoski et al (2020) apresenta o teor de umidade mais baixo, uma vez que são briquetes produzidos a partir de podas urbanas e para a compactação é exigido teor de umidade reduzido de 8 a 12 %. No entanto, a briquetagem não altera as propriedades químicas do material sendo observados os teores de CF, MV e CZ semelhantes aos demais autores.

Tabela 3. Resultados para umidade (U) e Análise Imediata (CF, MV, CZ) para poda urbana.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | Este trabalho | Souza, Alencar Mazzonetto (2016) | Martins (2013) | Mazzonetto et al (2012) | Petricoski et al (2020) |
| U (%) | 68,12 | 36,62  | 20,99  | 60,30  | 8,80 |
| CF | 15,97 | 16,44 |  | 11,17 | 20,23 |
| MV | 82,09 | 75,36 |  | 82,37 | 70,95 |
| CZ | 1,94 | 8,19 |  | 6,46 | 8,25 |

 O material que passou pelo processo de torrefação foi submetido a análise imediata. A Tabela 4 apresenta a matriz do planejamento, com as variáveis nas suas formas codificadas e reais, e os resultados obtidos para carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV), cinzas (CZ) e rendimento gravimétrico (RG).

Segundo Rodrigues (2009), este tratamento térmico conduz a padronização das características físico-químicas e mecânicas do material, assim concentrando a energia disponível em um novo produto, com perda de massa limitada.

 Para cada combinação de temperatura e tempo de processamento, pode-se obter produtos de diferentes propriedades que podem ser reproduzidos com alta precisão. A densidade energética e os teores de carbono fixo aumentam quando são incrementados os parâmetros de temperatura e tempo, como pode ser observado nos resultados obtidos. O rendimento decresce com o aumento da temperatura como observado nos ensaios 2 e 4 e o poder calorífico aumenta, embora neste trabalho não tenha sido determinado (FELFLI; LUENGO; SOLER, 2003).

Tabela 4. Resultados para CF, MV, CZ e RG.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Ensaio | T (°C) | t(h) | CF (%) | MV (%) | CZ (%) | RG (%) |
| 1 | -1 (240) | -1 (1) | 52,18 | 43,66 | 4,15 | 51 |
| 2 | 1 (280) | -1 (1) | 56,76 | 38,46 | 4,78 | 44 |
| 3 | -1 (240) | 1 (3) | 54,43 | 40,97 | 4,61 | 49 |
| 4 | 1 (280) | 1 (3) | 63,13 | 32,74 | 4,13 | 41 |
| 5 | 0 (260) | 0 (2) | 55,67 | 39,51 | 4,82 | 49 |
| 6 | 0 (260) | 0 (2) | 54,41 | 41,40 | 4,18 | 46 |
| 7 | 0 (260) | 0 (2) | 54,04 | 41,57 | 4,40 | 46 |

 Realizou-se análise estatística do experimento usando a matriz do planejamento da Tabela 2. Os ensaios 5,6 e 7 são replicatas realizadas no ponto central do experimento, com intuito de verificar a reprodutibilidade e o erro experimental.

O ensaio 4 com temperatura de 280 °C e tempo de 3 h apresentou o maior teor de carbono fixo (63,13 %), menor teor de material volátil (32,74%) e rendimento gravimétrico (41 %), corroborando com os dados da literatura.

A temperatura e o tempo foram significativos e influenciaram positivamente o aumento do teor de carbono fixo, ou seja, aumentando a temperatura e o tempo aumenta-se o teor de carbono fixo. Para o material volátil apenas a temperatura teve efeito significativo, sendo um efeito negativo, ou seja, o aumento da temperatura influi negativamente no percentual de material volátil. Para as variáveis cinzas e rendimento gravimétrico não observou-se efeito significativo da temperatura e do tempo.

Os resultados do efeito da temperatura e tempo sob as variáveis resposta CF, MV, CZ e RG pode ser observado nos Diagramas de Pareto apresentados na Figura 1.

Figura 1.Diagrama de Pareto para carbono fixo (a), material volátil (b), cinzas (c) e rendimento gravimétrico (d).

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |
|  |  |
| (c) | (d) |

Tabela 5. Modelos de regressão linear com coeficiente de determinação R2 e teste F (Fcalculado/Ftabelado)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Combinação temperatura (T) tempo (t) |  |  |
| Modelo de Regressão | R2 |  | Fcal/Ftab |
| CF(%) = 55,80 + 3,32 T + 2,15 t | 0,90 |  | 1,50 |
| MV (%) = 39,76 – 3,36 T | 0,88 |  | 1,19 |

Na Figura 2 são apresentados os gráficos de superfície de resposta para ilustrar o efeito das variáveis independentes; temperatura e tempo; no comportamento do processo.

Figura 2.Superfície de resposta para carbono fixo (a) e material volátil (b)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
| (a) | (b) |

**Conclusões**

A umidade elevada de 68,12 % pode estar associada ao tempo que o material estava sendo seco no ambiente e ao fato do armazenamento do material ser a céu aberto. A temperatura e o tempo contribuem positivamente para o incremento do teor de carbono fixo e a temperatura contribui negativamente para a diminuição do teor de material volátil. A torrefação apresenta-se como uma boa alternativa para agregar valor ao resíduo da poda urbana, transformando-o em um coproduto mais interessante energeticamente.

**Referências Bibliográficas**

ANGELIS, B. L. D.; SAMPAIO, A. C. F; TUDINI, O. G.; ASSUNÇÃO, M. G. T.; NETO, G. de A. Avaliação das árvores de vias públicas da zona central de Maringá, estado do Paraná: estimativa de produção de resíduos e destinação final. *Acta Sci. Agron*. Maringá, v 29, n.1, p. 133-140, 2007.

ARIAS, B.; PEVIDA, C.; FERMOSO, J.; PLAZA, M. G.; RUBIERA, F.; PIS, J. J. Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass. *Fuel Processing Technology* v.89 p.169 – 175. 2007.

CORTEZ, C. L.; GRISOLI, R.; GAVIOLI, F.; COELHO, S. T.; CARMELO, S. Alternativa sustentável para utilização de resíduos de poda provenientes da manutenção das redes de distribuição de energia elétrica. 2008. Disponível em: <http://143.107.4.241/download/publicacoes/podaagrener04jun2008.pdf> Acesso em: 24/11/2016.

### FELFLI, F. E. F.; LUENGO, C. A.; SOLER, P. B. **Torrefação de Biomassa: Características, Aplicações e Perspectivas.** 2003. An. 3. *Enc. Energ. Meio Rural*.

MARTINS, C. H. O aproveitamento de madeiras das podas da arborização viária de Maringá/PR. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável,* *8*(2), 257-267. 2013.

MAZZONETTO, A. W; VISSOTTO, J. P; NEVES, R. C; SÁNCHEZ, E. M. S; SÁNCHEZ, C. C. Caracterização de resíduos de poda, capina e serragem urbana para geração de energia. CONEM, *Congresso Nacional de Engenharia Mecânica*. 2012. São Luís 2012.

NOLASCO, A. M.; MEIRA, A. M.; GATTI, R. C. Capacitação de gestores públicos em gerenciamento de resíduos da arborização urbana. *Revista de Cultura e Extensão USP*, v. 9, p. 65-73, 2013.

Petricoski, S. M.; Feiden, A., Ferla-Oliveira, A.; Tokura, L. K.; Siqueira, J. A. C.; Bonassa, G.; Zilli, B. M.; Gentelini-Marquez, D. P.; Souza, S.N.M.; Feiden, C. A.; Feiden, E. A.; Martinez, A. S.; Briquettes Produced With a Mixture of Urban Pruning Waste, Glycerin and Cassava Processing Residue. *Journal of Agricultural Science*; Vol. 12, No. 6; 202.0

PROTÁSIO, T. de P.; TRUGILHO, P. F., NEVES, T. A., VIEIRA, C. M. M. Análise de correlação canônica entre características da madeira e do carvão vegetal de Eucalyptus. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 40, n. 95, p. 317-326, set. 2012.

RODRIGUES, T. O. Efeitos da torrefação no condicionamento de biomassa para fins energéticos. 2009. 71 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

SILVA, M. J. D.; RENOFIO, T. C. Z.; MARGUTTI, M. C**. A Reutilização dos Resíduos das Podas de Árvores e o Levantamento Regional dos tipos de Árvores.** 2016. Disponível em: <http://web-resol.org/textos/2009-levantamento\_regional\_manuel.pdf>. Acesso em: 24 nov. 2016.

SOUZA, N. R. D.; ALENCAR, L. S.; MAZZONETTO. A. W. Potencial energético do resíduo das podas de árvores no município de Piracicaba – SP. *Energ. Agric*., Botucatu, vol. 31, n.3, p.237-245, julho-setembro, 2016.

VIDAL, A. C. F.; HORA, A. B. da. Perspectivas do setor de biomassa de madeira para a geração de energia. *BNDES Setorial*, n. 33, mar. 2011, p. 261-314, 2011.