

MODELAGEM DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR EM FUNÇÃO DOS COMPONENTES ELEMENTARES E MINERAIS

MODELING OF THE HIGHER HEATING VALUE IN FUNCTION OF ELEMENTAL AND MINERAL COMPONENTS

Thiago de Paula PROTÁSIO¹; Lina BUFALINO²; Mário GUIMARÃES JÚNIOR³;
Gustavo Henrique Denzin TONOLI⁴; Paulo Fernando TRUGILHO⁴

RESUMO – O objetivo desse trabalho foi ajustar e selecionar modelos estatísticos entre os componentes elementares (C, H e O) e o teor de cinzas com o poder calorífico superior da biomassa vegetal. Utilizaram-se oito tipos de biomassa. Foram ajustados 3 modelos estatísticos lineares múltiplos, desconsiderando-se o intercepto. Procedeu-se à análise de variância dos modelos. Os modelos foram avaliados com base na significância dos seus coeficientes (Teste t), no coeficiente de determinação ajustado, no erro padrão da estimativa e no coeficiente de variação. Os resíduos foram analisados graficamente e por meio dos testes estatísticos. Foi realizada a análise gráfica dos modelos, bem como das curvas de nível. As análises dos resíduos dos modelos evidenciaram pequenos desvios em relação aos pressupostos da análise de regressão. Observou-se aumento do poder calorífico superior com o aumento dos teores de carbono e hidrogênio e decréscimo com o aumento do teor de oxigênio mais cinzas. Os modelos ajustados foram significativos pelo Teste F, apresentaram todos os coeficientes significativos pelo Teste t, baixo erro padrão da estimativa, baixo coeficiente de variação e alto coeficiente de determinação ajustado. Os resultados encontrados evidenciam a possibilidade de estimativa do poder calorífico superior com base apenas nos teores dos componentes elementares e minerais.

Palavras-chave: bioenergia; biomassa; carbono; modelos estatísticos

ABSTRACT - This work aimed to evaluate and select statistical models between elemental components (C, H and O) and ash contents and higher heating values of the plant biomass. Eight types of biomass were used. Three statistical multiple linear models were used, without considering the intercept. The variance analysis of the models was proceeded. The models were evaluated based on the significance of their coefficients (t Test), the adjusted determination coefficient, the estimation standard error and the variation coefficient. The residues were analyzed by graphics and statistical tests. The graphical analysis of the models and level curves were proceeded. The analysis of the model residues showed small deviations in relation to the assumptions of the regression analysis. Increases in higher heating values with increases in carbon and hydrogen contents and decreases of oxygen and ash contents were observed. The models adjusted were significant by F test, besides presenting significant coefficients by t Test, low estimation standard error, low variation coefficient and high adjusted determination coefficient. The results show the possibility of estimating the higher heating value based only in the elemental and mineral components.

Keywords: bioenergy; biomass; carbon; statistical models

¹Graduando de Engenharia Florestal, UFLA, DCF, depaulaprotasio@gmail.com

²Doutoranda em Ciência e Tecnologia da Madeira, UFLA, DCF, linabufalino@yahoo.com.br

³Mestre em Engenharia de Materiais, Professor do Depto de Eletrônica CEFET-MG, Campi Araxá, mgjunior@araxa.cefetmg.br

⁴Professores Doutores do DCF, UFLA, gustavotonoli@dcf.ufla.br; trugilho@dcf.ufla.br

INTRODUÇÃO

Os modelos de regressão vêm apresentando aplicabilidade e desenvolvimento crescente nas últimas décadas. Esse progresso deve-se ao avanço teórico científico e ao rápido aumento da capacidade de processamento computacional que permite o uso de complexos algoritmos numéricos que, por sua vez, viabilizam muitas das estimativas necessárias a esta classe de modelos (BARRETO, 2011).

Na área de energia da biomassa, a modelagem com o uso de regressões lineares simples ou múltiplas pode ser fundamental para analisar a relação entre variáveis e realizar predições de interesse técnico-científicas, seja do poder calorífico superior, dos componentes químicos elementares (C, H e O) ou do teor de cinzas (A). Esses componentes não são os únicos presentes na biomassa vegetal, mas são os de maior relevância a serem estudados devido às suas relações com o poder calorífico (PROTÁSIO et al., 2011; BRAND, 2010; PROTÁSIO et al., 2010a; PROTÁSIO et al., 2010b; PROTÁSIO et al., 2010c).

Existem diversos modelos na literatura que relacionam o poder calorífico com as análises química, imediata e elementar de combustíveis sólidos (PROTÁSIO et al., 2011; PROTÁSIO et al., 2010a; PROTÁSIO et al., 2010c; AKKAYA et al., 2009; DEMIRBAS; DEMIRBAS, 2004; DEMIRBAS, 2001). Contudo, torna-se necessário o aprimoramento dos modelos estatísticos, visando à melhoria da qualidade do ajuste e, conseqüentemente, da capacidade preditiva do modelo.

Nesse sentido, efetuar a análise dos resíduos da regressão e das medidas de precisão é fundamental para seleção de modelos de melhor qualidade. A modelagem pode ser muito útil na diminuição dos custos e tempo das análises e em avaliações preliminares de vários tipos de biomassa, como na seleção de resíduos lignocelulósicos para a produção de calor, vapor ou eletricidade em caldeiras ou gaseificadores (PROTÁSIO et al., 2011).

As relações existentes entre o poder calorífico e os constituintes elementares da biomassa tendem a apresentar caráter linear facilitando o processo de modelagem e as interpretações dos parâmetros do modelo, uma vez que, a análise de regressão linear é uma teoria consolidada na literatura estatística.

Diante do exposto, os objetivos desse trabalho foram ajustar e selecionar modelos estatísticos entre os componentes elementares (carbono, hidrogênio e oxigênio) e o teor de cinzas com o poder calorífico superior de resíduos lignocelulósicos florestais e agrícolas.

MATERIAL E MÉTODOS

Ensaio e biomassa vegetal utilizada

Foram utilizados oito tipos de biomassa vegetal compostos por maravalhas de eucalipto (*Eucalyptus urophylla* S.T. Blake de 6 anos de idade), maravalhas de cedro australiano (*Toona ciliata* M. Roem de 18 anos de idade), maravalhas de pinus (*Pinus* sp. de 35 anos de idade), casca de arroz, bagaço de cana-de-açúcar, resíduos do processamento de café (casca e pergaminho), resíduos da colheita do milho (palha, sabugo, caule e folhas) e polpa celulósica residual de bambu (*Bambusa vulgaris* Schrad. ex J.C. Wendl).

A biomassa vegetal avaliada foi amostrada aleatoriamente. Para os ensaios realizados, foram utilizadas cinco frações de cada resíduo que foram devidamente moídos, totalizando 40 observações por variável.

Na quantificação do poder calorífico superior (PCS), foi utilizado um calorímetro digital da marca IKA C-200, sendo o ensaio padronizado com a norma ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984).