

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIO**

FABIANE DE SOUZA BUENO

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO CONSUMO DO COMBUSTÍVEL BPF NO
PROCESSO DE SECAGEM DA MADEIRA**

Botucatu – SP
Novembro – 2013

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE BOTUCATU
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM AGRONEGÓCIO**

FABIANE DE SOUZA BUENO

**MODELAGEM MATEMÁTICA DO CONSUMO DO COMBUSTÍVEL BPF NO
PROCESSO DE SECAGEM DA MADEIRA**

Prof^a. Ms. Gislaine Cristina Batistela

Relatório de Iniciação Científica Apresentado
à FATEC - Faculdade de Tecnologia de
Botucatu, como exigência para cumprimento
do Trabalho de Conclusão de Curso no Curso
Superior de Tecnologia em Agronegócio.

Botucatu – SP
Novembro – 2013

Dedico
Aos meus pais,
Maria Suzana de Souza e Miguel Bueno

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, *Maria Suzana de Souza* e *Miguel Bueno* que contribuíram para minha formação pessoal e profissional.

Ao meu marido *Lucas Josué de Oliveira* pelo apoio e compreensão.

A Prof^ª. *Ms. Gislaine Cristina Batistela* pela confiança e orientação no desenvolvimento desta pesquisa.

À *Faculdade de Tecnologia de Botucatu (Fatec-BT)* pelo apoio no desenvolvimento desta pesquisa

E, em especial a *Deus* pelas oportunidades e vitórias que me concedeu ao longo desse caminho.

RESUMO

O aumento com o consumo do combustível BPF (Baixo Ponto de Fluidez) gera gastos altíssimos em sua aquisição, tornando-se necessário a possibilidade de controlar as variáveis envolvidas no processo de secagem da madeira o qual caracteriza-se pelo processo de redução do teor de umidade. O presente estudo teve como objetivo estudar o relacionamento entre as variáveis: teor de umidade das partículas de madeira mensurado na etapa antecedente ao processo de secagem na fabricação de painéis de madeira (teor de umidade do silo úmido), teor de umidade base úmida, teor de umidade base seca e densidade básica da madeira com o consumo do combustível BPF (Baixo Ponto de Fluidez) utilizado nos secadores de uma indústria de painéis de madeira. As metodologias utilizadas: modelos de regressão linear simples e modelos de regressão múltipla. Observou-se que para valores altos (acima do valor máximo das observações) do teor de umidade do silo úmido e quando aumentada a densidade básica da madeira em 1g/cm^3 ($0,48\text{g/cm}^3$ para $0,49\text{g/cm}^3$) o consumo de combustível BPF (litros/dia) diminui. Conclui-se também que, fixando a densidade básica da madeira, quanto maior o teor de umidade do silo úmido maior o consumo do combustível BPF (litros/dia), gerando mais custos operacionais para a empresa estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Combustível BPF. Modelos de regressão. Painéis de madeira. Teor de Umidade.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de painéis de madeira.....	16
Figura 2 – Modelos de gráficos de resíduos. (a) situação ideal; (b) e (c) modelo não-linear; (d) elemento atípico; (e), (f) e (g) heterocedasticidade; (h) não-normalidade	20
Figura 3 - Consumo de combustível BPF em função do teor de umidade do silo úmido	25
Figura 4 - (a) Distribuição dos resíduos em relação ao consumo de combustível BPF ajustado; (b) Distribuição dos resíduos em relação a variável teor de umidade do silo úmido.....	26
Figura 5 - (a) Distribuição dos resíduos em relação a variável logaritmo natural do consumo de BPF ajustado; (b) Distribuição dos resíduos em relação a variável teor de umidade; (c) Distribuição dos resíduos em relação a variável densidade básica da madeira.....	28
Figura 6 - Gráfico qxq (normalidade) para os resíduos do modelo 2.....	29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Matriz de dados	22
Tabela 2 - Média, Quartil 1, Mediana, Quartil 3, Máximo, Mínimo, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação das variáveis estudadas	23
Tabela 3 - Resumo da análise de variância do ajuste do modelo de regressão múltipla.....	24
Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros	25
Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros para o novo modelo.....	27
Tabela 6 - Valores previstos para o consumo de combustível BPF	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Objetivos.....	8
1.2 Justificativa.....	9
2 REVISÃO DE LITERATURA	10
2.1 Características gerais da madeira	10
2.1.1 Propriedades físicas e mecânicas da madeira	10
2.1.1.1 Teor de umidade	11
2.1.1.2 Umidade base úmida (Ubu).....	12
2.1.1.3 Umidade base seca (Ubs)	12
2.1.1.4 Ponto de saturação das fibras (PSF)	13
2.1.1.5 Densidade básica	13
2.2 Estudos relacionados à umidade da madeira	14
2.3 Painéis de madeira	15
2.3.1 Processo de fabricação de painéis de madeira.....	15
2.3.2 Combustível utilizado nos secadores do processo de secagem	17
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
3.1 Material.....	18
3.2 Métodos	18
3.2.1 Análise de regressão	18
3.2.1.1 Suposições básicas do modelo de regressão.....	19
3.2.1.2 Análise de resíduos de modelo de regressão	20
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	22
4.1 Descrição dos dados	22
4.2 Construção do modelo 1	23
4.2.1 Análise de resíduos do modelo 1	26
4.3 Construção do modelo 2	26
4.3.1 Análise de resíduos do modelo 2.....	28
4.4 Previsão usando o modelo de regressão múltipla.....	29
5 CONCLUSÃO.....	31
REFERÊNCIAS	32

1 INTRODUÇÃO

A secagem da madeira caracteriza-se pelo processo de redução do teor de umidade, buscando um teor de umidade definido, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável para o uso a que se destina. Este processo pode ser realizado de duas maneiras, sob condições naturais (ao ar livre) ou por meio de estufas ou secadores. Durante o processo de secagem é necessário o fornecimento de calor para evaporar a umidade do material (madeira).

Segundo Oliveira (2005) o teor de umidade da madeira e o período de tempo decorrido desde o início da secagem são os parâmetros que regulam a passagem de uma etapa para outra.

O combustível BPF (Baixo Ponto de Fluidez) é utilizado em equipamentos destinados à geração de energia térmica, considerado um óleo combustível fóssil com alto ponto de fulgor.

A aplicação de técnicas estatísticas está crescendo em virtude do aumento do emprego da abordagem quantitativa na resolução de problemas e principalmente na tomada de decisão, tornando-se de grande importância para o seguimento agroindustrial. Uma das principais técnicas é a empregabilidade do controle estatístico de um determinado processo que tem como finalidade analisar o desempenho, controlar a qualidade do produto e estudar o relacionamento ou associação entre as variáveis.

1.1 Objetivos

Analisar o consumo de combustível BPF utilizado nos secadores considerando as variáveis: teor de umidade das partículas de madeira, teor de umidade base úmida, teor de umidade base seca e densidade básica da madeira na etapa antecedente ao processo de secagem na fabricação de painéis de madeira, por meio de modelagem matemática.

1.2 Justificativa

O aumento com o consumo do combustível BPF para empresa estudada gera gastos altíssimos no momento de aquisição deste produto, por isso deve-se fazer uma análise para verificar a possibilidade de controlar o teor umidade do silo úmido, o teor de umidade base seca e base úmida e a densidade básica da madeira em uma faixa ideal de trabalho. Nesse contexto, destaca-se a importância do conhecimento estatístico para obtenção de informações precisas que auxiliam na tomada de decisões assertivas, a fim de garantir maior rentabilidade na produção e menor consumo do combustível BPF litros/dia.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Características gerais da madeira

A madeira é um tecido fibroso denso, que compreende a maior parte de troncos, ramos e raízes das árvores, arbustos e lenhosos, pertencentes ao grupo de plantas como gimnospermas e angiospermas dicotiledôneas (OLIVEIRA, J.,2007).

A qualidade da madeira se refere à sua capacidade para atender aos requisitos necessários para a fabricação de um produto, ou ainda, a combinação das características físicas, mecânicas, químicas e anatômicas de uma árvore que permite a melhor utilização da madeira para um determinado uso (SEVERO, 2007).

Segundo Pereira et al. (2000) o gênero de *Eucalyptus* é conhecido por sua grande variabilidade genética e existe centenas de espécies com propriedades físicas e químicas diversas destinadas a uma série de finalidades, por meio de usos tradicionais (lenha, estacas, moirões, dormentes, carvão vegetal, celulose e papel e painéis) e nobres (fabricação de casas, móveis e estruturas).

A madeira de *Eucalyptus* conquistou uma importante posição na indústria de papel e celulose, produção de carvão vegetal e painéis, por meio de técnicas de melhoramento genético e manejo florestal que garantem maior produtividade e qualidade (SEVERO, 2007).

2.1.1 Propriedades físicas e mecânicas da madeira

A madeira apresenta diferentes propriedades, tais como físicas e mecânicas. As propriedades físicas mais importantes são: teor de umidade; retratibilidade (troca de umidade

do material com o meio que o envolve) e massa específica aparente ou densidade. As propriedades mecânicas englobam: resistência à flexão estática; resistência à compressão paralela as fibras; resistência ao cisalhamento; resistência à tração normal as fibras; resistência ao fendilhamento; dureza; e tração normal às fibras (OLIVEIRA, J., 2007).

Segundo Maloney (1989) citado por Haselein et al. (2002), as propriedades mecânicas como resistência e rigidez à flexão, resistência à tração paralela e perpendicular à superfície (ligação interna), resistência parafusos e pregos são afetadas pela geometria das partículas.

A geometria das partículas também influencia nas propriedades físicas dos painéis de madeira em relação à absorção de umidade na forma líquida ou de vapor e nas mudanças correspondentes em dimensões e características da superfície (HASELEIN et al., 2002).

2.1.1.1 Teor de umidade

O estudo da umidade é indispensável, apesar de não ser considerada uma característica intrínseca, mas é um parâmetro que afeta todo o comportamento da madeira, quanto à trabalhabilidade, estabilidade dimensional, resistência mecânica e durabilidade (OLIVEIRA, J., 2007).

A umidade das partículas da madeira afeta diretamente as propriedades e o processo de fabricação de painéis de madeira. Segundo Pierre (2010) o teor de umidade das partículas é decisivo nas características e propriedades finais dos painéis de madeira, pois diminuirá a movimentação dimensional da peça evitando rachaduras e conseqüentemente as peças de madeira poderão ser produzidas com maior precisão de dimensões proporcionando melhor desempenho em serviço.

Corrêa (2004) menciona que o efeito do conteúdo de umidade das partículas prejudica significativamente as propriedades e o processo de produção dos painéis de madeira.

A madeira deverá ser utilizada com uma umidade próxima ao teor de equilíbrio higroscópico, que é função das condições de umidade relativa e temperatura do ar (OLIVEIRA, J., 2007).

O teor de umidade é a quantidade de água que uma peça de madeira contém e pode ser expressa como porcentagem do peso seco em estufa ($103 \pm 2^\circ\text{C}$) da peça de madeira e para determiná-lo pode ser de diversas maneiras, sendo os mais comuns o método da estufa e medidor elétrico de umidade (SEVERO, 2007).

O Teor de Umidade de Equilíbrio (TUE) é o teor de umidade no qual a madeira tende alcançar quando deixada em condições de umidade relativa ao ar e temperatura constante, podendo apresentar uma pequena variação de uma madeira para outra (SEVERO, 2007).

Segundo Oliveira, A. et al. (1986) sendo o TUE função da umidade relativa e da temperatura do ar, torna-se necessário conhecer as variações climáticas da região da madeira. É possível determinar a umidade de equilíbrio com os valores médios de umidade relativa e temperatura do ar por meio da Equação 1.

$$UE = \frac{UR}{5} \quad (1)$$

onde:

UE = Umidade de equilíbrio da madeira (%);

UR = Umidade relativa do ar (%).

2.1.1.2 Umidade base úmida (Ubu)

Segundo Galvão e Jankowsky (1988) a umidade base úmida é determinada por meio da Equação 2.

$$Ubu = \frac{m_u - m_s}{m_u} \cdot 100 \quad (2)$$

onde:

Ubu = Umidade base úmida (%);

m_u = massa úmida;

m_s = massa seca.

O teor de umidade base úmida é a razão entre o peso da água presente na madeira e o peso total, ou seja, água e madeira.

2.1.1.3 Umidade base seca (Ubs)

Segundo Galvão e Jankowsky (1988) a umidade base seca é encontrada por meio da Equação 3.

$$Ubs = \frac{m_u - m_s}{m_s} \cdot 100 \quad (3)$$

onde:

Ubs = Umidade base seca (%);

m_u = massa úmida;

m_s = massa seca.

O teor de umidade base seca na madeira mostra a porcentagem de água presente na madeira em relação ao peso seco.

2.1.1.4 Ponto de saturação das fibras (PSF)

O Ponto de Saturação das Fibras (PSF) corresponde a um teor de umidade no qual as paredes celulares encontram-se completamente saturadas, enquanto que o interior das cavidades celulares está isento de água líquida. O PSF varia entre as espécies de madeira, mas em geral assumem um valor médio igual a 30% (OLIVEIRA, A. et al., 1986).

De acordo com Severo (2007) existem dois tipos importantes de água na madeira, a água livre e a água higroscópica. O limite entre ambos é chamado de PSF, ou seja, quando toda a água livre já foi retirada.

O PSF é de fundamental importância para o entendimento do comportamento da madeira diante de um determinado processo tecnológico, pois é possível observar as variações das propriedades físicas e mecânicas quando a umidade da madeira atinge valores abaixo do PSF (OLIVEIRA, A. et al., 1986).

A importância do PSF refere-se às mudanças que ocorrem na madeira a partir dos pontos de alterações na resistência mecânica e contrações que causam defeitos como empenos e rachaduras. Estas alterações nas propriedades são decorrentes da retirada da água presente nos espaços submicroscópicos da parede celular fazendo com que as micelas se aproximem uma das outras, conferindo maior rigidez à madeira (CECH; PFAFF, 1977 citado por SEVERO, 2007).

2.1.1.5 Densidade básica

A densidade da madeira é um parâmetro importante para determinar a potencialidade de uma dada espécie para a fabricação de painéis (KELLY, 1977 citado por CORRÊA, 2004).

Para Shimoyama e Barrichello (1991) citado por Oliveira, Hellmeister e Mário Filho (2005) a densidade básica da madeira é reconhecida como um dos mais importantes parâmetros para avaliação da sua qualidade, por ser de fácil determinação e estar relacionada às suas demais características.

A densidade básica é a relação entre a massa absolutamente seca da madeira e o seu volume, quando completamente saturado de água (SEVERO, 2007).

Segundo Galvão e Jankowsky (1988) a densidade básica é encontrada por meio da Equação 4.

$$\rho = \frac{m_s}{v_s} \quad (4)$$

onde:

ρ = Densidade básica;

m_s = massa seca;

v_s = volume saturado.

2.2 Estudos relacionados à umidade da madeira

Logsdon e Carlito Júnior (2002) demonstraram a influência do teor de umidade sobre as propriedades de resistência à compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras (no plano radial-longitudinal), bem como sobre o módulo de elasticidade longitudinal e a densidade aparente, em sete diferentes espécies de madeira, apresentando uma proposta para correção das propriedades de resistência e rigidez ao teor de umidade de 12% e também uma proposta para a correção da densidade aparente, por meio de análise estatística de regressão linear simples e múltipla e o teste de Tukey.

Oliveira, Hellmeister e Mário Filho (2005) estudaram as variações de umidade e da densidade básica da madeira de sete espécies de eucalipto por meio de estatística descritiva e correlação. Os resultados apontaram maior homogeneidade de distribuição de umidade dentro das árvores de *E. paniculata* e *E. citriodora*, indicada pelos coeficientes de variação e desvio padrão. O diferencial de umidade da madeira nas regiões internas do tronco de *E. paniculata* e *E. citriodora* foi de 20% e de *E. urophylla* e *E. grandis*, de 80%. A densidade básica da madeira aumentou na direção radial do tronco e cada espécie de eucalipto apresentou um modelo de variação.

Silveira, Rezende e Vale (2013) estudaram o teor de umidade e a densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas agrupando espécies com características de teor de umidade e densidade básica semelhante para compor cargas mistas de espécies para secagem em câmaras industriais de secagem da madeira. Os valores de densidade básica variaram de 0,561 a 0,904 g cm⁻³, separando as espécies em três grupos com base na densidade básica e teor de umidade, o primeiro com as espécies *Minquartia guianensis*, *Lecythis poiteaui*, *Mezilaurus itauba*, *Manilkara huberi* e *Brosimum rubescens* que são consideradas

madeiras pesadas (densidade variando de 0,835 a 0,904 g cm³), de secagem mais lenta ou difícil. O segundo grupo contém as espécies *Clarisia racemosa* e *Ocotea rubra* (densidade média de 0,665 e 0,720 g cm³, respectivamente) e o terceiro grupo com as espécies *Parkia paraensis* e *Brasimum parinarioides* que apresentam densidade média e secagem rápida (densidade de 0,561 e 0,588 g cm³, respectivamente). Concluíram que as espécies *Minquartia guianensis*, *Brosimum parinarioides*, *Clarisia racemosa*, *Lecythis poiteaui*, *Ocotea rubra*, *Mezilaurus itauba*, *Manilkara huberi*, *Brosimum rubescens* e *Parkia paraensis* apresentaram densidade média à alta e a densidade básica da madeira na base do tronco semelhante do topo do tronco, desencadeando a estabilidade mecânica da madeira.

2.3 Painéis de madeira

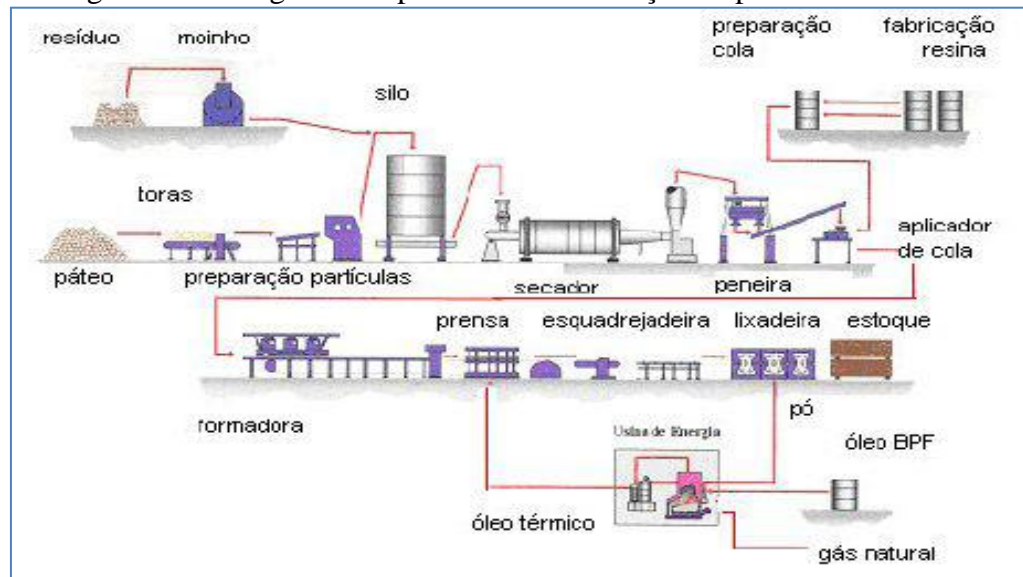
Os painéis de madeira são estruturas fabricadas com madeiras em lâminas ou em diferentes estágios de desagregação, que são aglutinadas pela ação de pressão e temperatura, com uso de resinas em alguns casos, podendo ser classificados de dois tipos, madeira reconstituída (fabricados com base no processamento químico da madeira, que passa por diferentes processos de desagregação) e madeira processada mecanicamente (formados por camadas de lâminas ou sarrafos de madeira maciça) (MATTOS; GONÇALVES; CHAGAS, 2008).

Os painéis de madeira reconstituída são: aglomerado/MDP (*Medium Density Particleboard*), MDF (*Medium Density Fiberboard*), OSB (*Oriented Strand Board*) e chapas de fibra ou chapa dura (*Hardboard*); os painéis de madeira processada mecanicamente englobam os compensados e os EGP (*Edge Glued Panel*).

2.3.1 Processo de fabricação de painéis de madeira

O processo de fabricação de painéis de madeira compreende várias etapas conforme a Figura 1: geração de partículas, secagem, classificação, aplicação de adesivos e de aditivos químicos, formação do colchão, pré-prensagem, prensagem a quente, resfriamento, acondicionamento, acabamento, classificação, embalagem e armazenamento (IWAKIRI, 2005 citado por WEBER, 2011).

Figura 1 - Fluxograma do processo de fabricação de painéis de madeira



Fonte: Weber (2011).

A matéria prima utilizada na produção de partículas encontra-se na forma de toretes e/ ou resíduos. Os toretes previamente descascados e os resíduos sólidos são transformados em cavacos. Os cavacos por sua vez são transformados em partículas, por meio de moinhos ou refinadores, que são secadas a um teor de umidade de 2 a 3% e classificadas em tamanhos adequados para produção em peneiras vibratórias, giratórias ou classificadores a ar. O objetivo desta etapa consiste em separar o material fino, a camada externa (CE) e a camada interna (CI). As partículas classificadas (CE e CI) e secas são transportadas para silos de armazenamento (PIERRE, 2010).

A secagem da madeira é o processo da redução do teor de umidade a fim de levá-la sem danos a um teor de umidade definido, com o mínimo de defeitos, no menor tempo possível e de uma forma economicamente viável, para o uso que se destinará (SEVERO, 2007).

Conforme Oliveira J. (2007) a secagem consiste na retirada de água da madeira até certo nível, que deverá estar em equilíbrio com as condições de temperatura e umidade relativa, do local de utilização desta, sendo tal condição chamada de Teor de Equilíbrio Higroscópico (TEH). Segundo o autor, o TEH ocorre quando existe uma condição de umidade, em que o seu teor de umidade está em equilíbrio com condições de umidade relativa e temperatura do ar que a envolve, podendo variar entre regiões e épocas do ano.

Os secadores disponíveis para o processo de produção de painéis de madeira são de tambores rotativos de uma ou três passagens e utilizam para a geração de calor, resíduos de madeira, gás ou combustível (BPF). Segundo Lara Palma (2009) o teor de umidade das partículas

da madeira na entrada no secador apresenta-se superior a 50% base úmida e na saída, entre 2 e 8%.

As partículas armazenadas em silos são transferidas para encoladeiras, para adição de resina, emulsão para melhorar a estabilidade dimensional do painel, catalisadores para acelerar a cura da resina e reduzir o tempo de prensagem e aditivos. Estes produtos são aplicados por meio de bicos pulverizadores, tubos ou atomizadores (LARA PALMA, 2009).

A resina aplicada no processo de produção é a ureia formaldeído, devido ao baixo custo. As partículas com resina são transportadas à formadora e posteriormente conduzidas à prensa (PIERRE, 2010).

A operação de prensagem é feita em prensas cíclicas ou contínuas. A prensagem contínua é um método altamente aperfeiçoado na produção de painéis. Segundo Maloney (1993) citado por Weber (2011) esta tecnologia permite aumento da velocidade da linha de produção, evitando tempos improdutivos de carregamento, descarregamento, fechamento e abertura das prensas convencionais.

Depois de prensados, os painéis são resfriados, lixados, dimensionados e armazenados para expedição. Para Chipanski (2006) citado por Weber (2011) após a prensagem, os painéis são transportados para um sistema de resfriamento antes da estocagem. Os painéis são, esquadrejados em dimensões comerciais e seguem para o acabamento, onde são lixados para remoção de imperfeições e nivelamento de superfície.

2.3.2 Combustível utilizado nos secadores do processo de secagem

Os combustíveis são divididos em dois tipos: leves e pesados.

Os combustíveis leves são classificados em óleo diesel e empregados em motores de combustão por compressão de médias e altas rotações e os combustíveis pesados são os APF (Alto Ponto de Fluidez) e BPF (Baixo Ponto de Fluidez) utilizados em motores de grande porte e baixa rotação.

O combustível utilizado nos secadores disponíveis para o processo de fabricação de painéis de madeira é o combustível BPF um óleo combustível derivado de petróleo destinado à geração de energia térmica com alto ponto de fulgor.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

Os valores das séries históricas foram fornecidos por uma indústria de painéis de madeira da região de Botucatu – SP. O período de análises deste estudo é de janeiro a dezembro do ano de 2012.

As variáveis estudadas são: BPF (y): consumo de combustível BPF mensurado em litros por mês (litros/dia); Umi (x_1): Teor de umidade do silo úmido (%) (teor de umidade das partículas de madeira na etapa antecedente ao processo de secagem); Ubu (x_2): Teor de umidade base úmida (%); Ubs (x_3): Teor de umidade base seca (%); Densi (x_4): densidade básica das toras de madeira no momento de chegada à indústria (g/cm^3).

Estas séries foram analisadas por meio da técnica estatística de modelos de regressão linear múltipla (DRAPER e SMITH, 1981), com a suposição de normalidade avaliada por meio do teste *Shapiro-Wilk* (SHAPIRO e WILK, 1965).

Para auxiliar as análises foram utilizados o pacote office – 2010 – *Microsoft Excel* e *Word* e o software *R-Gui* (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008).

3.2 Métodos

3.2.1 Análise de regressão

A análise de regressão estabelece relações que possibilitam “predizer” valores de uma variável dependente (variável resposta) em termos de variáveis independentes (variáveis explicativas ou regressoras).

O modelo de regressão linear simples é expresso pela Equação 5,

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon, \quad (5)$$

onde β_0 é o termo de intercepto, β_1 é o coeficiente angular e ε é o erro aleatório. Os parâmetros do modelo β_0 e β_1 geralmente não são conhecidos e devem ser estimados a partir de dados amostrais. Dessa forma, o método dos mínimos quadrados descrito em Bussab e Morettin (2012) pode ser usado para calcular valores de b_0 e b_1 , os quais são as estimativas dos parâmetros do modelo.

A Equação 6 descreve o modelo de regressão linear estimada,

$$\hat{y} = b_0 + b_1 x \quad (6)$$

A regressão múltipla é uma técnica utilizada quando se deseja estudar o comportamento de uma variável resposta (dependente) em relação a outras variáveis explicativas (independentes).

O modelo de regressão múltipla, dado na Equação 7, descreve a relação entre as k variáveis explicativas, x_j , e a variável resposta, y_j :

$$y_j = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_k x_k + \varepsilon_j, \quad (7)$$

onde $\beta_0, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_k$ são os parâmetros do modelo (ou coeficientes de regressão) e ε_j são os erros aleatórios. O modelo de regressão múltipla estimado é dada na Equação 8.

$$\hat{y}_j = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \dots + b_k x_k, \quad (8)$$

em que $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ são as estimativas dos parâmetros do modelo apresentado na Equação 7. O processo de estimação para regressão múltipla pelo método dos mínimos quadrados pode ser encontrado em Bussab e Morettin (2012).

Os coeficientes de regressão na regressão múltipla são interpretados da seguinte maneira: b_1 representa uma estimativa da alteração em y correspondente à alteração de uma unidade em x_j quando todas as outras variáveis independentes mantêm-se constantes (ANDERSON; SWEENEY; WILLIAMS, 2003).

3.2.1.1 Suposições básicas do modelo de regressão

De acordo com Anderson, Sweeney e Williams (2003) os modelos de regressão linear e múltipla devem satisfazer algumas suposições sobre o erro aleatório ε , descritas a seguir:

Homoscedasticidade: Os valores do erro aleatório ε são independentes e é uma variável aleatória com valor médio (ou valor esperado) igual à zero, ou seja, $E(\varepsilon) = 0$. A variância de ε , denotada por σ_ε^2 é a mesma para todos os valores de x_j .

Normalidade dos erros: O erro ε é uma variável aleatória normalmente distribuída. Como y é uma função linear de ε , y é também uma variável aleatória normalmente distribuída.

3.2.1.2 Análise de resíduos de modelo de regressão

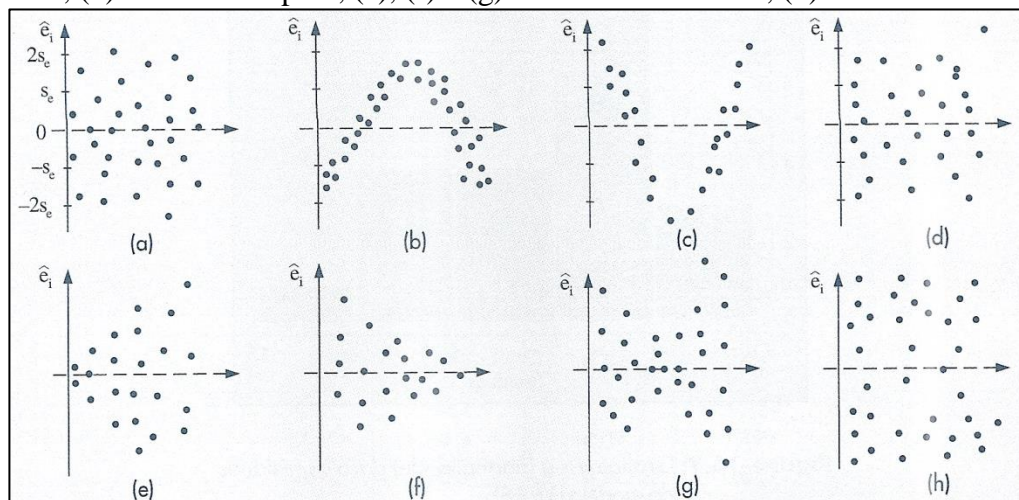
Para verificar se um modelo é adequado, é preciso investigar se as suposições feitas para o desenvolvimento do modelo estão satisfeitas. Estuda-se o comportamento do modelo usando o conjunto de dados observados, notadamente as discrepâncias entre os valores observados e os valores ajustados pelo modelo, ou seja, faz-se uma análise dos resíduos (BUSSAB; MORETTIN, 2012).

O i -ésimo resíduo é dado na Equação 9.

$$\hat{e}_i = y_i - \hat{y}_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (9)$$

Segundo Bussab e Morettin (2012) ao obter o gráfico dos resíduos, é possível identificar inadequações. Na Figura 2 encontram-se alguns modelos usuais de gráficos de resíduos.

Figura 2 – Modelos de gráficos de resíduos. (a) situação ideal; (b) e (c) modelo não-linear; (d) elemento atípico; (e), (f) e (g) heterocedasticidade; (h) não-normalidade



Fonte: Bussab e Morettin (2012).

Observa-se que a Figura 2 (a) é a situação ideal para os resíduos, distribuídos aleatoriamente em torno do zero, sem nenhuma observação muito discrepante.

Na Figura 2 (b) e (c) nota-se possíveis inadequações do modelo adotado e as curvaturas sugerem que deve-se procurar outras funções matemáticas que expliquem melhor o fenômeno.

A Figura 2 (d) mostra a existência de um elemento discrepante e deve ser investigada a razão desse desvio tão marcante. Pode ser um erro de medida, ou a discrepância pode ser real.

No caso da Figura 2 (e), (f) e (g) mostram que a suposição de homoscedasticidade (mesma variância) não está satisfeita. Na Figura 2 (h) observa-se que existe maior incidência de observações nos extremos, mostrando que a suposição de normalidade não está satisfeita.

Analisando os resíduos e diagnosticada uma possível transgressão das suposições, deve-se propor transformações que tornem o modelo mais adequado aos dados e às suposições feitas (BUSSAB; MORETTIN, 2012).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Descrição dos dados

Os valores das variáveis abordadas neste estudo encontram-se na Tabela 1. Os valores no período de análise compreende o consumo do combustível BPF (litros), teor umidade do silo úmido (%), teor de umidade base úmida (%), teor de umidade base seca (%) e densidade básica da madeira (g/cm³).

Tabela 1 - Matriz de dados

Mês	BPF (l/dia)	Umi.(%)	Ubu.(%)	Ubs.(%)	Densi (g/cm ³)
Janeiro	2.265,45	51,86	31	44	0,457
Fevereiro	1.746,29	50,41	30	43	0,465
Março	3.919,16	54,02	33	49	0,451
Abril	4.839,97	56,23	31	46	0,446
Mai	4.177,29	54,48	32	49	0,424
Junho	7.659,03	62,91	33	55	0,432
Julho	10.312,74	63,79	35,5*	57,68	0,463
Agosto	8.023,23	63,86	38	65	0,452
Setembro	9.942,27	57,01	39	63	0,434
Outubro	5.139,74	54,69	33	44	0,451
Novembro	6.462,07	55,32	31	46	0,421
Dezembro	3.842,48	47,67	26	36	0,411

*Ubu (%) do mês de julho não foi divulgada e seu valor foi estimado pela média entre o mês anterior (junho) e o mês posterior (agosto).

A Tabela 2 fornece as medidas descritivas do conjunto de dados.

Tabela 2 - Média, Quartil 1, Mediana, Quartil 3, Máximo, Mínimo, Desvio Padrão e Coeficiente de Variação das variáveis estudadas

Variáveis					
Medida	BPF (l/dia)	Umi.(%)	Ubu.(%)	Ubs.(%)	Densi (g/cm ³)
Média	5.694,14	56,02	32,71	49,81	0,44
Q1	3.899,99	53,48	31,00	44,00	0,43
Mediana	4.989,85	55,00	32,50	47,50	0,45
Q3	7.750,08	58,49	33,63	55,67	0,45
Máx.	10.312,74	63,86	39,00	65,00	0,47
Min.	1.746,29	47,67	26,00	36,00	0,41
D.P	2.804,41	5,20	3,53	8,68	0,02
C.V. (%)	49,25	9,28	10,87	18,27	3,90

Analisando a Tabela 2 observa-se que o consumo médio do combustível BPF no período analisado é de 5.694,14 litros/mês, sendo que o consumo máximo é de 10.312,74 litros/dia e mínimo de 1.746,29 litros/dia, com uma amplitude de 8.566,45 litros/dia.

Observando o coeficiente de variação, verifica-se que houve maior variabilidade nos dados de consumo do combustível BPF (49,25%) e a menor variabilidade (3,9%) na densidade básica.

Em relação à umidade, o teor de umidade base úmida apresenta média de 32,71 e desvio padrão de 3,53%, sendo menor que o teor de umidade base seca, com média de 49,81% e desvio padrão de 8,68%. Já o teor de umidade do silo úmido tem seu valor médio em 56,02% e desvio padrão de 5,20%.

4.2 Construção do modelo 1

Em continuação, realiza-se o teste de *Shapiro-Wilk* (SHAPIRO e WILK, 1965) a fim de verificar a suposição de normalidade da variável consumo do combustível BPF (variável resposta). Considerando-se o nível de 5% de significância, o valor p do teste ($p=0,5534$) indica a não rejeição da hipótese de normalidade para a variável em estudo ($p>0,05$).

Inicialmente, ajusta-se o modelo de regressão múltipla em função das variáveis Umi, Ubu, Ubs e Densi (variáveis regressoras). Na Tabela 3 encontra-se o resumo da análise de variância (ANOVA) para o ajuste do modelo de regressão múltipla considerando todas as variáveis, ou seja, o modelo utilizado é,

$$y_j = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \varepsilon_j, \quad (10)$$

onde β_j , $j=0, 1, \dots, 4$, são os parâmetros do modelo a serem estimados (coeficientes de regressão) e ε_j são os erros aleatórios.

Tabela 3 - Resumo da análise de variância do ajuste do modelo de regressão múltipla

Fonte de Variação	Graus de Liberdade	Quadrado Médio	Estatística F	Valor p
Regressão	4	17.605.252,5	7,66	0,0107*
x_1	1	56.524.207	24,59	0,0016*
x_2	1	4.387.725	1,91	0,2096
x_3	1	518.199	0,23	0,6494
x_4	1	8.990.879	3,91	0,0885
Resíduo	7	2.298.667		
Total	11			

*($p < 0,05$)

Considerando a primeira linha da Tabela 3, verifica-se que pelos menos uma variável regressora explica significativamente a variação que ocorre na variável resposta ($p=0,0107$). Observa-se que a variável teor de umidade do silo úmido (x_1) explica significativamente a variação que ocorre na variável resposta, porém, as variáveis Ubu (x_2), Ubs (x_3) e Densi (x_4) não foram estatisticamente significativas, ou seja, os coeficientes estimados para os parâmetros são iguais a zero, caracterizando redundância dessas variáveis no ajuste do modelo. Essa redundância é dependente da estrutura de correlação existente entre as variáveis do modelo, como pode ser visto na matriz de correlação a seguir:

	BPF	Umi	Ubu	Ubs	Densi
BPF	1	0,8083	0,7529	0,8088	-0,0582
Umi		1	0,7458	0,8444	0,2454
Ubu			1	0,9476	0,3318
Ubs				1	0,2180
Densi					1

Os valores 0,7458 e 0,8444 representam as correlações entre o teor de umidade silo úmido e o teor de umidade base úmida (Ubu) e o teor de umidade base seca (Ubs), respectivamente, indicando alta associação entre as variáveis.

Ajusta-se, então, um novo modelo excluindo as variáveis Ubu (x_2), Ubs (x_3) e Densi (x_4). As estimativas dos parâmetros (b_0 e b_1) encontram-se na Tabela 4.

Tabela 4 - Estimativas dos parâmetros

Parâmetros	Estimativa	Valor p
β_0	-18724,1	0,0078*
β_1	435,9	0,0015*

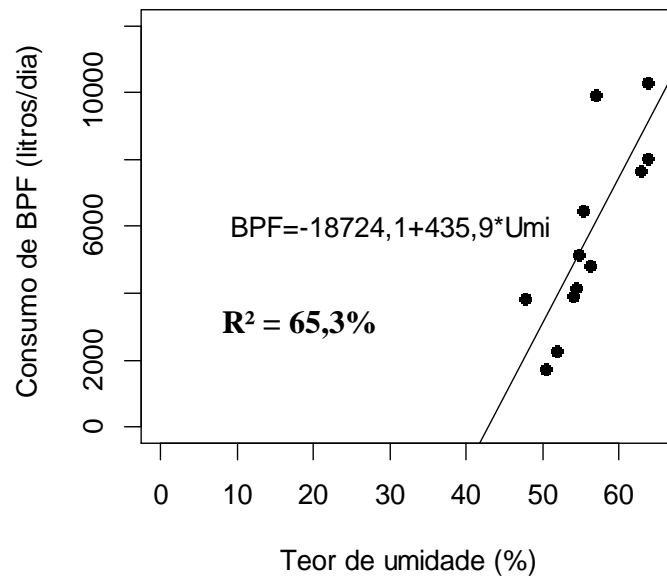
*(p<0,05)

O coeficiente de determinação, R^2 , representa a proporção da variação explicada pelo modelo regressão, ou seja, é a medida que diz “quão bem” a reta de regressão da amostra se ajusta aos dados. Neste modelo o valor do R^2 é de 0,653, isto é, 65,3% das informações são explicadas pelo modelo ajustado,

$$\widehat{BPF} = -18724,1 + 435,9 U_{mi} \quad (11)$$

Na Figura 3 encontra-se o gráfico do consumo de combustível BPF em função do teor de umidade do silo úmido com a reta descrita pelo modelo ajustado.

Figura 3 - Consumo de combustível BPF em função do teor de umidade do silo úmido



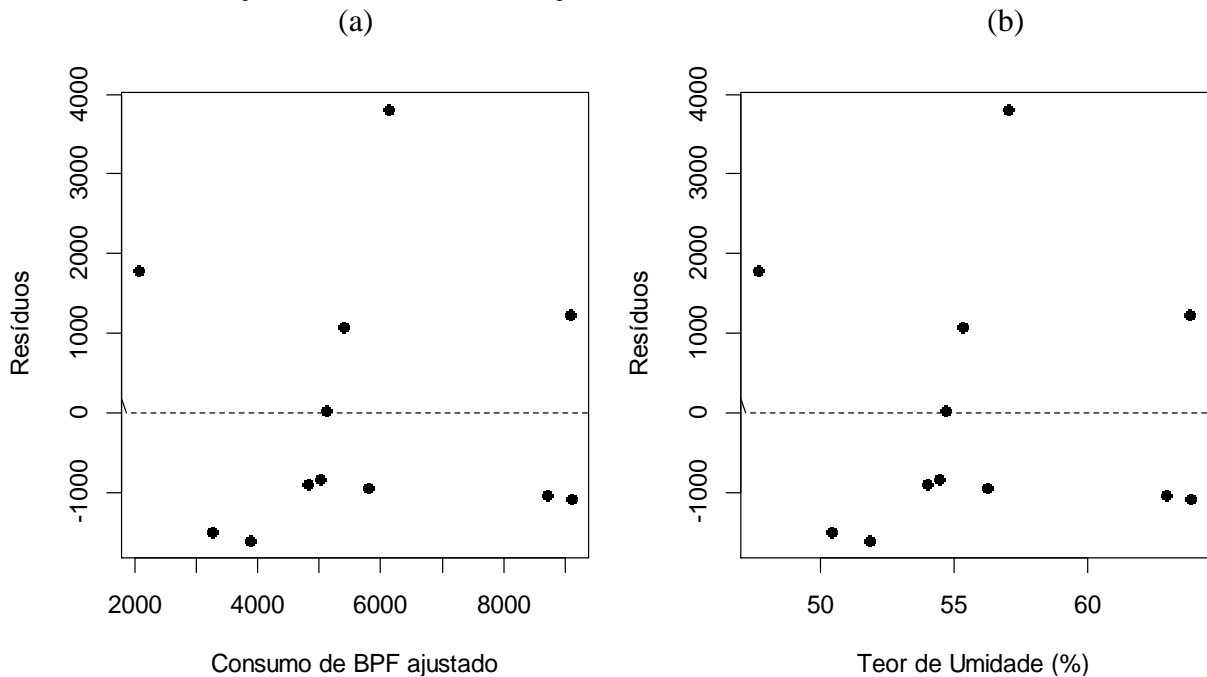
Pela análise realizada, é possível mostrar que existe uma relação linear (associação) entre o consumo do combustível BPF e o teor de umidade do silo úmido, ou seja, o teor de umidade do silo úmido pode ser utilizado para explicar o consumo do combustível BPF.

O valor estimado do parâmetro β_1 representa a taxa de crescimento da variável resposta em função da variável regressora, ou seja, a cada aumento de 1% do teor de umidade do silo úmido o consumo do combustível BPF aumenta em 435,9 litros/dia.

4.2.1 Análise de resíduos do modelo 1

Para avaliar a qualidade do modelo de regressão ajustado realiza-se a análise de resíduos. O gráfico de resíduos (Figura 4 (a)) mostra a distribuição dos valores ajustados da variável resposta (Consumo do combustível BPF) e os resíduos (diferença entre o valor observado da variável resposta e o seu valor estimado).

Figura 4 - (a) Distribuição dos resíduos em relação ao consumo de combustível BPF ajustado; (b) Distribuição dos resíduos em relação a variável teor de umidade do silo úmido.



Pela Figura 4 (a) observa-se que existe uma relação entre os valores do consumo do combustível BPF ajustado e os resíduos, fornecendo evidências que o modelo de regressão ajustado não é apropriado aos dados.

Para avaliação da premissa de homoscedasticidade (erro tem média zero e variância comum σ_e^2) utiliza-se o gráfico de resíduos em relação a variável independente (Teor de umidade do silo úmido), como pode ser verificado na Figura 4 (b).

Examinando o gráfico da Figura 4 (b) nota-se que a suposição de homoscedasticidade está violada, pois parece haver uma relação entre os resíduos e os valores do teor de umidade do silo úmido (variável regressora), ou seja, os pontos não estão distribuídos aleatoriamente em torno do zero.

4.3 Construção do modelo 2

A análise de resíduos para o modelo de regressão ajustado dado na Equação 11 mostra a não adequabilidade do modelo, bem como a suposição de homoscedasticidade não satisfeita. Desta forma, é usual fazer uma transformação da variável resposta y , ou da variável preditora x , ou de ambas, no sentido de superar as violações das premissas da regressão.

Neste estudo é feita a transformação envolvendo o logaritmo natural (logaritmo na base e) da variável resposta e , sendo assim, tem-se uma nova variável definida por $y_i^* = \ln(y_i)$, ou seja, y_i^* significa o logaritmo natural da variável consumo do combustível BPF mensurado em cada mês do ano de 2012.

Em seguida, ajusta-se um novo modelo de regressão múltipla em função das variáveis Umi , Ubu , Ubs e $densi$ (variáveis regressoras). Verifica-se, pela ANOVA, que as variáveis teor de umidade do silo úmido (x_1) e densidade básica da madeira (x_4) são significativas no novo modelo de regressão múltipla ($p < 0,05$), ou seja, as variáveis teor de umidade do silo úmido e densidade básica da madeira explicam significativamente a variação que ocorre na variável resposta (logaritmo natural do consumo do combustível BPF).

Ajusta-se, então, um novo modelo excluindo as variáveis Ubu (x_2) e Ubs (x_3) e as estimativas dos parâmetros (β_0 , β_1 e β_2) encontram-se na Tabela 5.

Tabela 5 - Estimativa dos parâmetros para o novo modelo

Parâmetros	Estimativa	Valor p
β_0	9,16	0,0023 *
β_1	0,09	0,0003 *
β_2	-13,45	0,0247 *

*($p < 0,05$)

A equação para o novo modelo ajustado é escrita por:

$$\ln(BPF) = 9,16 + 0,09 Umi - 13,45 Densi, \quad (12)$$

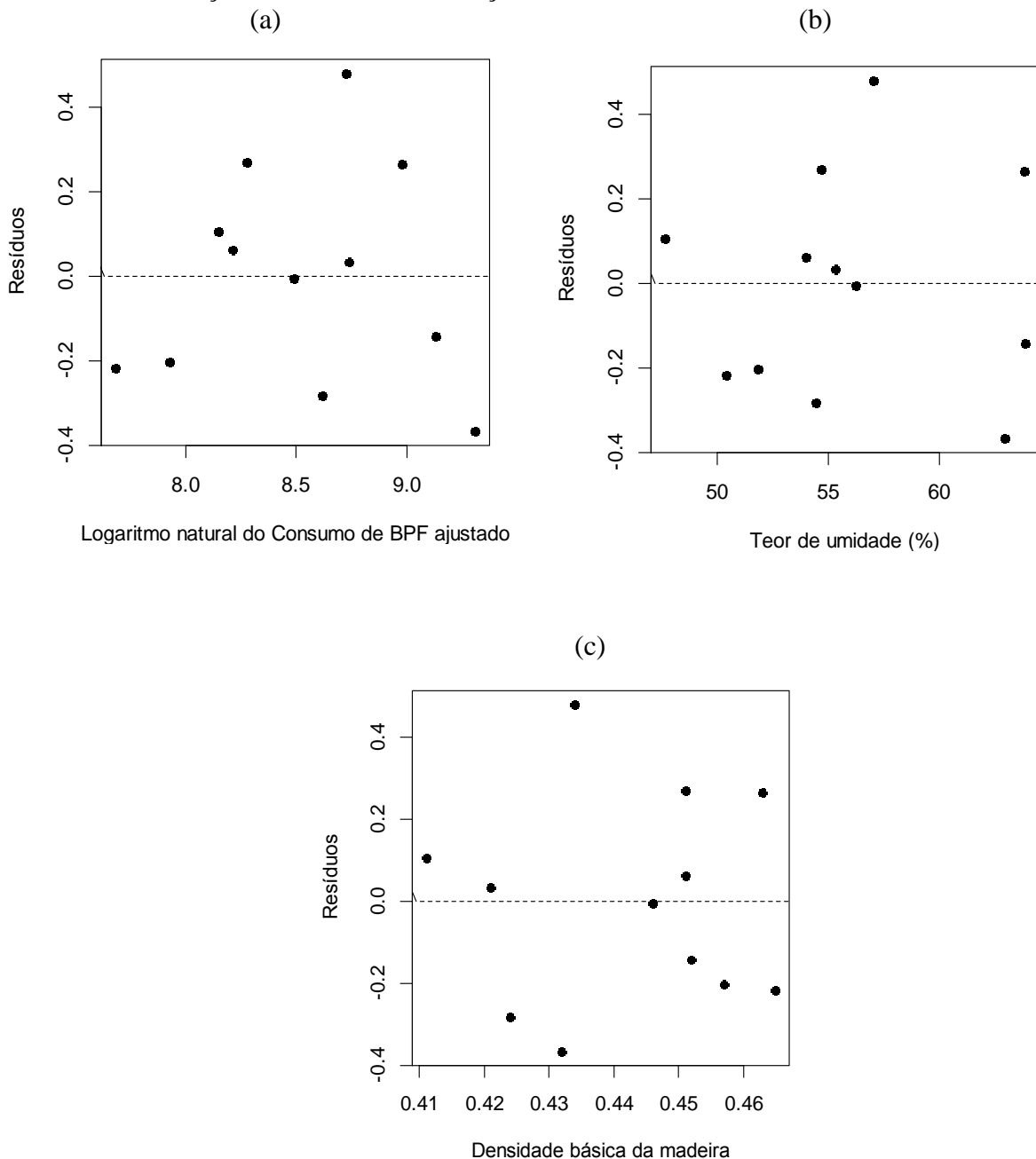
com coeficiente de determinação (R^2) de 0,789, ou seja, 78,9% das informações são explicadas pelo novo modelo ajustado.

Interpretação dos coeficientes do novo modelo ajustado: 0,09 é a estimativa do aumento esperado no $\ln(BPF)$ correspondente ao aumento de 1% do teor de umidade do silo úmido, quando a densidade básica da madeira é mantida constante. Para um determinado teor de umidade do silo úmido, é esperado que o $\ln(BPF)$ decresça 13,45 para cada 1g/cm^3 de aumento da densidade básica da madeira.

4.3.1 Análise de resíduos do modelo 2

Os gráficos de resíduos (Figura 5 (a); (b); (c)) mostram a distribuição dos resíduos *versus* valores ajustados da variável explicativa (logaritmo natural do consumo de combustível BPF), resíduos *versus* a variável regressora x_1 (teor de umidade do silo úmido) e resíduos *versus* a variável regressora x_4 (densidade básica da madeira), respectivamente.

Figura 5 - (a) Distribuição dos resíduos em relação a variável logaritmo natural do consumo de BPF ajustado; (b) Distribuição dos resíduos em relação a variável teor de umidade; (c) Distribuição dos resíduos em relação a variável densidade básica da madeira

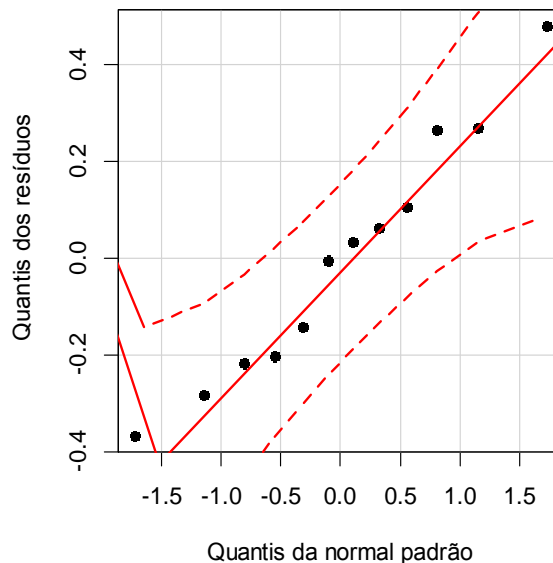


Observa-se, pela Figura 5, que não existe padrão na relação entre os resíduos e os valores do logaritmo natural do consumo de combustível BPF ajustado, os valores do teor de umidade ou os valores da densidade básica da madeira. Desta forma, conclui-se que o modelo de regressão múltipla estimado é apropriado para estimar o logaritmo natural do consumo de combustível BPF. O gráfico da Figura 5 (a) mostra que a suposição de homoscedasticidade não está violada, pois os pontos estão distribuídos aleatoriamente em torno do zero.

Uma análise gráfica envolvendo os quantis teóricos da distribuição normal e os quantis do resíduo do modelo (qxq) pode revelar, visualmente, desvios muito significativos da suposição de normalidade. A situação desejável, no gráfico, é observar os pontos dentro dos limites das linhas tracejadas que correspondem a um “envelope” que contém os pontos com 95% de probabilidade (BUSSAB; MORETTIN, 2012).

Pela Figura 6 verifica-se que a suposição de normalidade dos erros do modelo 2 ajustado está satisfeita.

Figura 6 - Gráfico qxq (normalidade) para os resíduos do modelo 2



4.4 Previsão usando o modelo de regressão múltipla

Para prever valores individuais do consumo de combustível BPF na regressão múltipla, é necessário substituir valores para o teor de umidade do silo úmido (Umi) e para a densidade básica da madeira ($Densi$) na equação de regressão múltipla estimada (Equação 12), após encontrar o valor de $\ln(BPF)$ aplica-se a exponencial em $\ln(BPF)$, ou seja, $(e^{\ln(BPF)})$.

Na Tabela 6 pode ser visto os valores previstos o consumo de combustível BPF, dados valores de para o teor de umidade do silo úmido e para a densidade básica da madeira, os quais foram baseados na experiência de um funcionário da empresa estudada.

Tabela 6 - Valores previstos para o consumo de combustível BPF

Umi (%)	Densi (g/cm³)	ln(BPF)	BPF (litro/dia)
65	0,48	8,554	5.187,46
65	0,49	8,420	4.534,64
75	0,48	9,454	12.759,10
75	0,49	9,320	11.153,40
85	0,48	10,354	31.382,32
85	0,49	10,220	27.432,95
95	0,48	11,254	77.188,06
95	0,49	11,120	67.474,16

Analisando os resultados da Tabela 6, conclui-se que:

- fixando o teor de umidade do silo úmido em 65% e variando a densidade básica 0,48 g/cm³ para 0,49 g/cm³ a previsão de consumo do combustível BPF diminui em 652,83 litros/dia.

- fixando o teor de umidade do silo úmido em 75% e variando a densidade básica 0,48 g/cm³ para 0,49 g/cm³ a previsão de consumo do combustível BPF diminui em 1605,70 litros/dia.

- fixando o teor de umidade do silo úmido em 85% e variando a densidade básica 0,48 g/cm³ para 0,49 g/cm³ a previsão de consumo do combustível BPF diminui em 3949,37 litros/dia.

- fixando o teor de umidade do silo úmido em 95% e variando a densidade básica 0,48 g/cm³ para 0,49 g/cm³ a previsão de consumo do combustível BPF diminui em 9713,89 litros/dia.

-

5 CONCLUSÃO

Pelo modelo 1 foi possível mostrar que existe uma relação linear (associação) entre o consumo do combustível BPF e o teor de umidade do silo úmido (teor de umidade das partículas de madeira na etapa antecedente ao processo de secagem), ou seja, o teor de umidade do silo úmido pode ser utilizado para explicar o consumo do combustível BPF. Porém, a análise de resíduos forneceu evidências que o modelo de regressão linear ajustado não foi adequado aos dados.

Com a transformação logarítmica na variável consumo do combustível BPF construiu-se um modelo de regressão múltipla (modelo 2) e por meio dele, concluiu-se que as variáveis teor de umidade do silo úmido e densidade básica da madeira explicam significativamente o logaritmo natural da variável resposta. Pela análise de resíduos verificou-se o ajuste adequado do modelo aos dados.

Utilizando o modelo de regressão múltipla para fazer algumas previsões, observou-se que para valores altos (acima do valor máximo dos dados) do teor de umidade do silo úmido e quando aumentada a densidade básica da madeira em 1 g/cm^3 ($0,48 \text{ g/cm}^3$ para $0,49 \text{ g/cm}^3$) o consumo de combustível BPF (litros/dia) diminui.

Conclui-se também que, fixando a densidade básica da madeira, quanto maior o teor de umidade do silo úmido maior o consumo do combustível BPF (litros/dia), gerando mais custos para a empresa estudada.

REFERÊNCIAS

ANDERSON, D. R.; SWEENEY, D. J.; WILLIAMS, T. A. **Estatística Aplicada á Administração e Economia**. 2. ed. São Paulo: Pioneira Tohmson Learning, 2003. 642 p.

BATALHA, M. O. (Org.). **Gestão Agroindustrial**. 5ª ed. São Paulo: Atlas, 2009. 419 p.

BUSSAB, W. O.de.; MORETTIN, P. A. **Estatística Básica**. 7. ed. São Paulo: Editora Saraiva, 2012. 540 p.

CORRÊA, G. R. **Desenvolvimento, produção e caracterização de compósitos de madeira-plásticos para aplicação na indústria moveleira**. Dissertação de Mestrado. UFOP/CETEC/UEMG. Belo Horizonte. 2004. Disponível em: <<http://www.redemat.ufop.br/arquivos/dissertacoes/2004/desenvolvimento%20producao.pdf>>. Acesso em: 20 jun. 2013.

DRAPER, N. R., SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley&Sons. 1981.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem racional da madeira**. ed. 1. São Paulo: Nobel, 1988, 112 p.

HASELEIN et al. **Resistência mecânica e à umidade de painéis aglomerados com partículas de madeira de diferentes dimensões**. Ciência Florestal, Santa Maria, v. 12, n. 2, 127-134 p. Disponível em: <<http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/view/1687/963>>. Acesso em: 10 out. 2013.

LARA PALMA, H. A. **Painéis de madeira**. Botucatu: UNESP, Faculdade de Ciências Agrônômicas. 2009. 40 p.

LONGSDON, N. B.; JÚNIOR CARLITO, C. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. Disponível em:<http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/pdf/cee18_77.pdf>. Acesso em: 10 out. 2013.

MATTOS, R. L. G.; GONÇALVES, R. M.; CHAGAS, F. B. das. **Painéis de madeira no Brasil: Panorama e perspectivas**. Disponível em:<http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4136/BNDES_Pain%C3%A9is-de-madeira-no-Brasil-panorama-e-perspectivas.pdf?sequence=1>. Acesso em: 10 out. 2013.

OLIVEIRA, A. M. F. et al. **Manual de preservação de madeira**. São Paulo: Instituto de pesquisa tecnológicas do Estado de São Paulo divisão de madeiras. 1986. v. 1.

OLIVEIRA, J. T. S. **Propriedades físicas e mecânicas da madeira**. Vitória: Aquarius, 2007. 302 p.

OLIVEIRA, J. T. S.; HELLMEISTER, J. C.; FILHO MÁRIO, T. **Variação do teor de umidade e da densidade básica na madeira de sete espécies de eucalipto**. Revista *Árvore*, Viçosa – MG, v. 29, n. 1, 115-127 p, 2005. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rarv/v29n1/24241.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2013.

PEREIRA et al. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil**. Colombo: EMBRAPA FLORESTAS, 2000. 113 p. Disponível em:< <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc38.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2013.

PIERRE, F. C. **Caracterização Físico Mecânica de Painéis Aglomerados de Eucalyptus Grandis com adição de resíduos Industriais Madeireiros**. Tese de Doutorado. FCA/UNESP. Botucatu, 2010. Disponível em: <<http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0564.pdf>>. Acesso em 05 fev. 2013.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008). **R Language and Environment for Statistical Computing**. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-7. Disponível em:<<http://www.r-project.org/>>. Acesso em: 30 jul. 2013.

SEVERO, E. T. D. **A secagem da madeira de eucalipto e seus desafios**. Vitória: Aquarius, 2007. 302 p.

SHAPIRO, S. S.; WILK, M. B. **An analysis of variance test for normality (complete sample)**. *Biometrika*, Great Britain, v. 52, n. 3, p. 591-611, 1965.

SILVEIRA, L. H. C.; REZENDE, A. V.; VALE, A. T. **Teor de umidade e densidade básica da madeira de nove espécies comerciais amazônicas**. Revista *Acta Amazônica*, v. 48 (2), 2013, 179-184 p. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/aa/v43n2/v43n2a07.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2013

VALENTE, M. D. R. et al. **Modelo de predição para o volume total de Quaruba (*vochysia inundata ducke*) via análise de fatores e regressão**. Rev. *Árvore*, vol. 35, n. 2, Viçosa. Março/Abril 2011. Disponível em:<http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-67622011000200015&script=sci_arttext>. Acesso em: 10 jun. 2013.

WEBER, C. Estudo sobre viabilidade de uso de resíduo de compensados, MDF e MDP para produção de painéis aglomerados. Dissertação de Mestrado, PPGEF, UFRP, Curitiba, 2011. Disponível em: <http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_ms/2011/d567_0772-M.pdf>. Acesso em: 14 maio 2013.