

ANALISE DAS VARIÁVEIS PRESENTES NO PROCESSO DE LIXAMENTO

Sueli LEITE¹ e Manoel C. ALVES²

- ¹ Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Bauru, Brasil.
- ² Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade de São Paulo “Júlio de Mesquita Filho”, Campus de Guaratinguetá, Brasil.

Resumo: O lixamento da madeira envolve inúmeras variáveis, as quais influenciam a qualidade superficial da peça produzida, tornando-se por isso, complexo. Este processo é imprescindível nas indústrias madeireiras, principalmente na produção de painéis e móveis. Entretanto, é tratado de forma empírica, prejudicando a qualidade do produto. Sabido disto objetivou-se alcançar um conjunto de parâmetros considerados ideais para obtenção da qualidade superficial. Para isto, seguiu o método Taguchi com matriz ortogonal (L_8), criando assim, oito condições diferentes de lixamento, variando os níveis dos seguintes fatores: granulometria, grão abrasivo, sentido do lixamento e espécie de madeira. Depois de lixadas, verificou a qualidade superficial das amostras, por meio, de um rugosímetro. Os resultados estão na fase de análise estatística, para terem-se conclusões precisas sobre o experimento.

Palavras-chave: lixamento, madeira, método Taguchi, rugosidade.

Abstract: The sanding involves many variables, which influence the surface quality of the produced piece, becoming so, a complex process. Acts of form essential to wood industries, mainly in the production of panels and furniture. However, your process is treated empirically, damaging the quality of the product. Known this, aimed obtain a set of parameters considered ideal for obtain surface quality. To this, used the Taguchi method with orthogonal matrix L_8 , thus creating eight different conditions sanding, varying levels of the following factors: particle size, abrasive grain, direction of sanding and species of wood. Once sanded, found the surface quality of the samples by means of a roughness tester. The results are in statistical analysis phase, to have accurate conclusions about the experiment.

Keywords: sanding, wood, Taguchi method, roughness.

1. INTRODUÇÃO

Em meados da década de 70, o Brasil deparou-se com o esgotamento de suas reservas naturais de essências florestais madeireiras, por conta do seu corte, sem planejamento. Para então, reverter o quadro de desmatamento, houve por meio da ação de incentivos fiscais, promovidos pelo governo o estímulo da plantação de reservas florestais, principalmente dos gêneros *Pinus sp* e *Eucalyptus sp*, destacando-se as espécies, *Corymbia citriodora* e *Pinus elliottii*.

Após, o reflorestamento, teve-se matéria-prima disponível no mercado, e as madeiras reflorestadas adentraram as indústrias madeireiras. Sendo estas, usadas para fabricação de móveis, painéis reconstituídos, lâminas, chapas, pisos, esquadrias, portas, instrumentos musicais e outros. Produtos os quais, necessitam do processo de lixamento, cuja finalidade é corrigir somente defeitos da usinagem que tenham surgidos devido à própria madeira; e garantir a qualidade do acabamento superficial.

No entanto, o lixamento é realizado de forma empírica, desconsiderando as características da madeira, material heterogêneo que varia suas propriedades físicas, químicas e mecânicas entre suas espécies; em uma mesma espécie e em uma mesma tora. Muitas indústrias de móveis não se atentam a esta propriedade do material, efetuado o mesmo procedimento para todas as espécies (HENDARTO et al., 2013).

O lixamento, usinagem com grãos abrasivos, é um dos processos de maior custo para a indústria madeireira. Sendo, difícil de ser caracterizado e analisado, devido à natureza aleatória da distribuição dos grãos na lixa e a anatomia da madeira. Pois, por ser um material heterogêneo, a complexidade do processo aumenta e muitas variações devem ser consideradas (SALONI et al., 2010).

Devido à crescente expansão do setor madeireiro e da maior utilização dessas espécies, torna-se importante estudar e conhecer as interações e efeitos dos parâmetros que envolvem o processo de lixamento, correlacionando-os com a qualidade final do produto. Afinal, a compreensão do lixamento em relação às variáveis presentes no processo, contribui para otimizá-lo, aproveitando adequadamente a matéria-prima, aumentando a lucratividade e criando produto com qualidade.

A busca pela qualidade é inegável no setor industrial, para ter sucesso no competitivo mercado globalizado. Pode descrevê-la, de muitas maneiras diferentes, devido sua complexidade, natureza multidimensional e numerosos aspectos. Porém, neste trabalho define-se qualidade e a obtêm, segundo o método Taguchi. (LAKSHMINARAYANAN et al., 2008).

Sendo assim, este artigo retrata a aplicação do método Taguchi como ferramenta estatística para planejar o experimento do lixamento, cujo objetivo é analisar as interações das variáveis que influenciam no acabamento superficial da madeira, criando parâmetros para o processo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o experimento utilizou uma lixadeira plana da marca BALDAN®, modelo LFH-2 (1), constituída por um suporte adaptado para fixação do corpo de prova (2), cilindro pneumático (3); exaustor para captação do pó (4), sistema de monitoramento, aquisição e manipulação de dados composto por (5): um painel de controle, sensores, transdutores, microcomputadores, placas, conectores, cabos e software (Figura1).



Figura 1. Lixadeira e seus componentes.



A placa de aquisição de dados foi da marca National Instruments, modelo NI PCI 6220, cuja função foi recepcionar os sinais analógicos dos sensores e transformá-los em digitais, para serem interpretados pelo software no microcomputador. O software para captação dos dados foi feito no programa LabView® 7.1 da National Instruments, no qual elaborou um programa com uma taxa de aquisição de 400 pontos por segundo em forma de matriz salvando-o em arquivo de texto.

Devido ao grande número de dados obtidos nos ensaios, fizeram-se necessários tratamentos nos arquivos de forma a filtrá-los, tornando-os capazes de serem analisados. Para isto, utilizou programas em MATLAB 7.9 para filtragem dos sinais, cálculo de força tangencial e velocidade de corte, que se mantiveram constante em todo experimento, para não influenciar nos resultados.

Acoplou um circuito pneumático para o controle preciso das velocidades de avanço e saída. Além de ser responsável, pelo acionamento do pistão que exerce a pressão de lixamento sobre a peça.

Após o lixamento, realizou a medição da rugosidade da superfície das amostras. Para isto, usou o aparelho rugosímetro da marca TAYLOR HOBSON, modelo Surtronic 25+, de haste de medição com ponta apalpadora cone-esférico de diamante, raio de ponta de 2 μm . O parâmetro (R_t) foi o escolhido para avaliar o estado da superfície lixada e os cálculos estatísticos foram efetuados com o auxílio do software Minitab 15.

Antes de efetuar o experimento, seguiu as etapas a seguir.

2.1 Fabricação e preparação das amostras

Às espécies, *Pinus elliotii* e *Corymbia citriodora*, utilizadas no experimento, foram retiradas respectivamente, de floresta plantada no sudeste do estado de São Paulo com aproximadamente 40 anos de idade e diâmetro a altura do peito (DAP) próximo de 50 cm; e a segunda, da região de Bauru com DAP mínimo de 50 cm e idade em torno de 35 anos.

Para preparar as amostras nas dimensões desejadas, fez um desdobro primário da tora de *Pinus elliotii* em uma serra de fita geminada da marca FaberNew modelo SFG - 1100 retirando um semi-bloco (1), o qual passou por um desdobro secundário em uma serra multilâminas da marca FaberNew, modelo CMB 210, obtendo cinco pranchas, com as seguintes dimensões: 3500 x 83 x 250 mm (2). As pranchas foram enumeradas de um a cinco, para realização de sorteio para retirar duas pranchas da espécie. Considerou-se que o sorteio das duas, era suficiente para representar a variabilidade das propriedades da madeira ao longo da seção transversal e longitudinal da tora. Das duas pranchas sorteadas, foram confeccionadas seis peças em uma resserra da marca FaberNew modelo DRP - 110V2 com as seguintes dimensões: 3500 x 83 x 60 mm (3). Destas seis, confeccionaram-se mais doze peças com as seguintes dimensões: 1000 x 30 x 60 mm (4). As peças foram climatizadas para alcançar o equilíbrio com o ambiente, por volta de 15% de umidade de equilíbrio (UE). Os procedimentos descritos acima estão representados na (Figura 2).

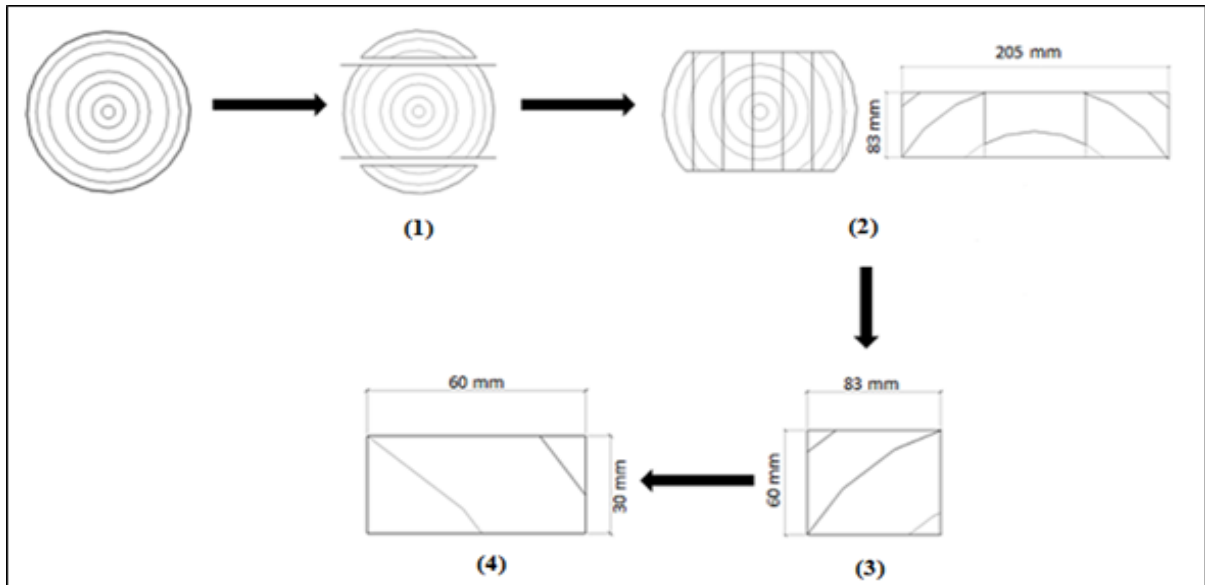


Figura 2. Esquema da primeira etapa da preparação dos corpos de prova.

O desdobra primário e secundário ocorreu apenas para o *Pinus elliottii* e o acabamento e climatização foi feito para ambas as madeiras. No entanto, as condições de preparação dos corpos de prova foram idênticas de maneira a não influenciar nas variáveis respostas do processo de lixamento. Assim, as amostras de *Pinus elliottii* e *Corymbia citriodora* com dimensões de 1000 x 30 x 60 mm e 1200 x 40 x 40 mm, respectivamente, foram aplainadas em duas faces de referência em uma plaina da marca ROCCO modelo PMS 350, reduzidas nas dimensões (largura e espessura) em uma desgrossadeira da marca BALDAN modelo DGR4 e cortadas em uma esquadrejadeira da marca VERRY modelo LIFE nas dimensões finais. Preparou-se um total de 800 corpos de prova de cada espécie, os quais foram enumerados e devidamente climatizados de acordo com a norma NBR 07190/1997 para “classe de umidade 1 - 12% UE” 48 em uma câmara climática da marca TECNAL modelo TE 4001. As dimensões finais dos corpos de prova foram 30 x 54 x 23 mm (Figura 3). Após a climatização, os corpos de prova foram armazenados e vedados em sacos de polietileno a fim de evitar que houvesse troca de umidade com o ambiente.

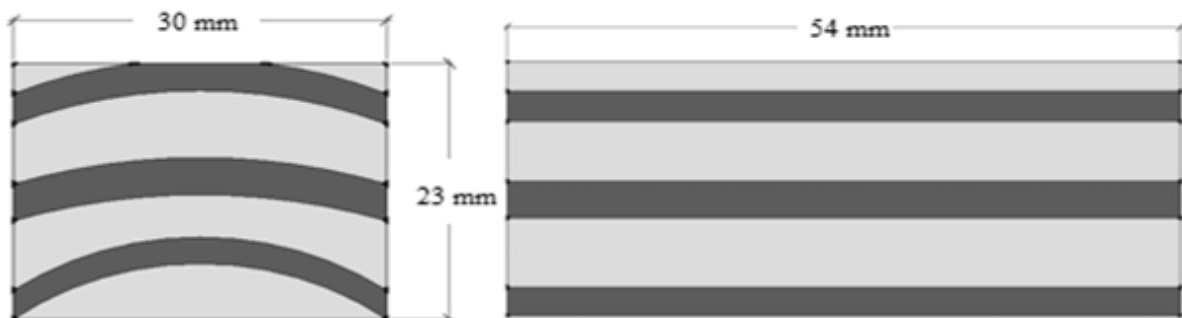


Figura 3. Dimensões finais das amostras de madeira.

2.3 Método Taguchi

Define qualidade como a perda que um produto causa à sociedade, após sua venda. Quanto menor a perda associada ao produto, maior sua qualidade. Com esta concepção, Taguchi associa a qualidade em função da perda (*quality loss*).

O produto está sujeito a variabilidade, intrínseca durante sua vida útil ou de efeitos colaterais nocivos associados ao seu uso, os quais são atribuídos por variáveis críticas denominadas, fatores de ruídos, presentes nos processos de projeto e produção. Estes fatores são os responsáveis de desviar o produto de alcançar o desempenho esperado, afetando à qualidade. Isto gera perda ao consumidor, desde uma inconveniência até prejuízo financeiro ou físico, ou seja, dano social (TAGUCHI; CHOWDHURY e TAGUCHI, 2000).

Ao aplicar o método Taguchi, objetiva identificar e ajustar os fatores de ruído para minimizar a variação que possa interferir na qualidade do produto final. Sendo possível então, determinar a combinação de fatores e interações que indicam as melhores condições para produzi-lo, padronizando o processo adequadamente (CORREIA; CARDOZA, 2010)

2.4 Planejamento Experimental

O experimento planejado ou projetado, define as condições do ensaio correntemente, induzindo ao processo estímulos nas variáveis de entrada (*inputs*), de forma que seja possível, observar e identificar os efeitos nas variáveis de saída ou resposta (*outputs*).

É por meio desta modelagem dos dados, que se pode analisar a relação entre uma ou mais respostas a um conjunto de fatores de interesse, garantindo precisão estatística na análise dos resultados. (MEHAT; KAMARUDDIN, 2012)

A aplicação do método Taguchi foi feita seguindo as seguintes etapas: (a) identificação dos fatores que interferem na qualidade do produto; (b) escolha dos níveis dos fatores (c) criação da matriz ortogonal; (d) realização dos ensaios e (e) análise dos resultados utilizando a relação sinal-ruído (S/N).

Após a identificação das etapas (a) e (b), (Tabela 1). Optou-se pela matriz ortogonal (L_8), pois é empregada para até sete fontes com dois níveis em oito ensaios.

Criou-se então, uma matriz ortogonal com menor número de ensaios, entre a influência da variabilidade da madeira e lixa em relação à rugosidade, como mostra a Tabela (2). Repetiu cada esquema de lixamento três vezes, totalizado em 24 ensaios

Tabela 1. Fatores e níveis do lixamento

FATORES		NÍVEIS			
Granulometria (<i>mesh</i>)	A	1 80	2 100	3 120	4 220
Grão abrasivo	B	1 Óxido de alumínio		2 Carbeto de silício	
Sentido de Lixamento	C	1 Paralelo		2 Perpendicular	
Espécie	D	1 <i>Pinus elliotii</i>		2 <i>Corymbia citriodora</i>	

Tabela 2. Condição dos ensaios de lixamento

PARÂMETROS	ENSAIO				
	CONDIÇÃO DOS ENSAIOS		FATORES		
	(L _g)	A	B	C	D
Rugosidade (Rt) Taxa de remoção (mm ³ /s)	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	2
	3	2	1	2	1
	4	2	2	1	2
	5	3	1	1	2
	6	3	2	2	1
	7	4	1	2	2
	8	4	2	1	1

Para o delineamento correto dos dados do experimento, Taguchi recomenda o uso de uma estatística de desempenho, denominada de razão sinal-ruído (S/N). Sua fórmula matemática representa 10 vezes o logaritmo do quadrado da razão entre a média e o desvio-padrão dos resultados de cada ensaio, tornando as medidas em decibéis. Existem três tipos de relação (S/R): nominal é melhor; maior é melhor e menor é melhor, sendo a última, usada no experimento, como mostrado na Equação (1).

$$S/N = - 10. \text{Log} (\sum y^2) / n \quad (1)$$

Onde:

S/N = razão sinal ruído.

y = valor da resposta;

n = número de repetições.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados em forma de gráficos (Figura 4 e 5), os quais retratam o efeito dos fatores e suas interações sobre as médias e razão sinal/ruído (S/N) para as rugosidades (Rt) e taxa de remoção (mm³/s)

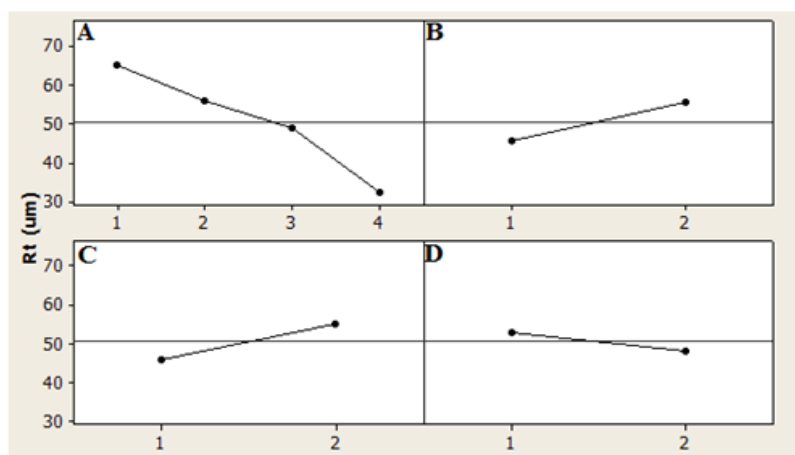


Figura 4. Efeito dos fatores sobre a rugosidade (Rt)

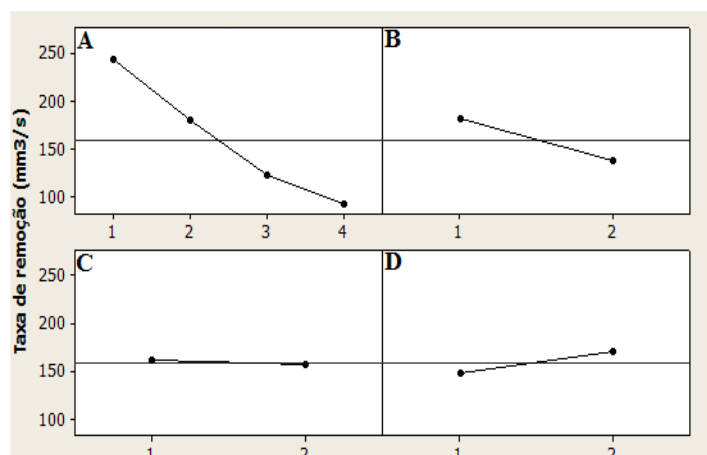


Figura 5. Efeito dos fatores sobre a taxa de remoção (mm³/s)

Ao analisar o gráfico (Figura4) observa que a combinação de fatores, os quais obtiveram o melhor acabamento superficial, foi o A4B1C1D2 (lixamento paralelo do *Corymbia citriodora* com a lixa de óxido de alumínio na granulometria de 220 mesh).

É possível relacionar o aumento da granulometria, com a diminuição da rugosidade. Afinal, quanto menor a granulometria, maior o tamanho do grão, aumentando a área de usinagem, removendo maior taxa de material e provocando irregularidades na superfície. Isto é visível, ao observar a (Figura 5), em que a taxa de remoção diminui, conforme o aumento da granulometria.

O grão abrasivo de óxido de alumínio proporcionou menor rugosidade e maior taxa de remoção do material, isto ocorreu, devido à sua característica mecânica. Pois, o óxido de alumínio possui maior tenacidade em relação ao carbeto de silício. Logo, os seus grãos não fraturam facilmente, ocorrendo o seu arredondamento e perda da afiação após desgastar-se. A tenacidade, o faz aumentar sua vida útil de corte, continuando a remover maior taxa de material do que o carbeto de silício, cuja característica, é a friabilidade, facilidade de fraturar-se e apresentar novas arestas de corte, continuando a lixar com agressividade a peça. Porém, desgastando mais rapidamente.

O lixamento realizado no sentido da grã, ou seja, paralelo. Remove material uniformemente ao longo da superfície, criando menores irregularidades. Diferentemente, do sentido perpendicular, que pode até mesmo, ocasionar o empenamento das fibras da madeira, aumentando a rugosidade da peça.

O *Corymbia citriodora*, apresentou menor rugosidade e maior taxa de remoção, resultados antagônicos ao *Pinus elliottii*. Este resultado pode ser possível, por conta de suas características anatômicas, e físicas, como a densidade.

CONCLUSÃO

Para obter-se uma conclusão precisa dos resultados, é necessário realizar uma análise de variância (ANOVA). Procedimento utilizado para comparar a significância entre os níveis dos fatores estudados. Esta análise estatística encontra-se em andamento.



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997. 107p.

ARVIDSSON, M. et al. An operationalization of robust design methodology 1 Introduction 2 Background. **International Journal**, n. 2003, 2005.

CORREIA, E. A. S.; CARDOZA, JAS Planning experiments in the production process using the Taguchi method. *Production Management, Operations and Systems (GEPROS)* v. 6, p. 55-66, 2010.

HENDARTO, B. Characterisation of Surface Finishing Processes in Wood Furniture Manufacturing by. p. 45–50, 2013.

LAKSHMINARAYANAN, A K.; BALASUBRAMANIAN, V. Process parameters optimization for friction stir welding of RDE-40 aluminium alloy using Taguchi technique. **Transactions of Nonferrous Metals Society of China**, v. 18, p. 548–554, 2008.

MEHAT, N. M.; KAMARUDDIN, S. Quality control and design optimisation of plastic product using Taguchi method: A comprehensive review. **International Journal of Plastics Technology**, v. 16, n. December, p. 194–209, 2012.

SADEGHI, S. H. et al. Soil erosion assessment and prioritization of affecting factors at plot scale using the Taguchi method. **Journal of Hydrology**, v. 448-449, p. 174–180, 2012.

SALONI, D. E.; LEMASTER, R. L.; JACKSON, S. D. Abrasive machining process characterization on material removal rate, final surface texture, and power consumption for wood. **Forest Products Journal**, v.55, n. 12, p.35-52, 2005.

TAGUCHI, G.; CHOWDHURY, S.; TAGUCHI, S. *Robust Engineering*. New York, NY: McGraw Hill, 2000.