

Modificações na cor da madeira de Mogno africano (*Khaya ivorensis*) sob efeito de tratamento térmico

Alexandre Miguel do Nascimento¹; Caterina Carvalhal Buratta¹; Jaqueline Rocha de Medeiros¹; Rogerio Rodrigues dos Santos ¹; Gabriel Iuri Candido Leandro¹; Caroline da Silva Santos¹.

¹ Departamento de Produtos Florestais, Instituto de Florestas, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, Brasil. – alexmnasci@gmail.com

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo avaliar as modificações na cor da madeira de *Khaya ivorensis* cortadas nos plano transversal radial e transversal tangencial, sob efeito ou não, do tratamento térmico nas temperaturas de 160, 180 e 200°C. Foi utilizado o espectrofotômetro portátil Konica Minolta CM 2600d (sistema CIELAB). Foram realizadas duas medições por contato direto na superfície, em três regiões ao longo do comprimento da amostra, duas nas extremidades e uma central, de cada plano de corte. O tratamento térmico, reduziu a pigmentação vermelha e amarela (a^* e b^*), e diminuição de luminosidade (L^*) e a saturação (C). Os planos de corte apresentaram diferenças nas variáveis cromáticas (b^* , L e C) antes da modificação térmica. Após o processo de modificação térmica a variável a^* diminuiu com 200°C. Com aumento da temperatura de tratamento, a pigmentação amarela (b^*) diminuiu, em ambos os planos.

Palavras-chave: Variáveis cromáticas, Modificação Térmica, Luminosidade.

Changes in the color of African mahogany wood (*Khaya ivorensis*) under the effect of heat treatment

Abstract: The present work aimed to evaluate the changes in the color of *Khaya ivorensis* wood cut in the radial transverse and tangential transverse planes, under the effect or not, of heat treatment at temperatures of 160, 180 and 200°C. The Konica Minolta CM 2600d portable spectrophotometer (CIELAB system) was used. Two measurements were carried out by direct contact on the surface, in three regions along the length of the sample, two at the ends and one central of each cutting plane. Heat treatment prevents red and yellow pigmentation (a^* and b^*) and decreases in brightness (L^*) and saturation (C). The cutting planes correspond to differences in chromatic variables (b^* , L and C) before thermal modification. After the thermal change process, the variable a^* with 200°C. As the treatment temperature increases, the yellow pigmentation (b^*) decreases in both planes.

Keywords: Chromatic variables, Thermal Modification, Luminosity.

1. INTRODUÇÃO

A cor da madeira é um dos primeiros aspectos que o consumidor verifica além da aspecto da grã, uniformidade da cor, podendo ser o parâmetro de aplicação imediata para a finalidade e destinação do material (MORI et al., 2005).

A cor da madeira pode ser considerada como um parâmetro de qualidade quanto ao valor de mercado da matéria prima. No entanto por se tratar de um material heterógeno a numa mesma peça de madeira, pode-se observar diferentes tonalidades.

Zhuang et al, 2021, falando sobre sistema de classificação de madeira maciça destinada a piso, afirma que a cor precisa ser identificada e classificada para atender às necessidades individuais dos clientes e propõe métodos de classificação para reduzir o custo da manual de classificação e melhorar a eficiência da produção.

Tratamentos térmicos podem ser aplicados para alterar, uniformizar e estabilizar a cor da madeira, agregando assim maior valor ao produto. Lopes et al, 2014 uniformizou a cor da madeira de cerne e alburno de *Tectona grandis*, quando tratada a 200°C tornando os dois lenhos sem distinção visual.

Além disso o tratamento térmico pode ser uma forma de estabilizar a cor de madeira expostas a radiação UV em condição de serviço externo, evitando assim a depreciação do material ao longo do tempo.

O tratamento térmico pode reduzir as diferenças de cores presentes na mesma amostra de madeira. A alteração na cor após o tratamento térmico é geralmente atribuída a mudanças químicas causadas pela degradação térmica. Isso inclui a formação de produtos de degradação coloridos a partir de hemiceluloses, bem como alterações nos extrativos e a formação de produtos de oxidação, como quinonas (GAFF et al., 2023).

Um dos fatores que mais influenciam na mudança da coloração é a presença de extrativos, e o teor de umidade da madeira (HILL; ALTGEN; RAUTIKARI, 2021; SIKORA et al., 2018). A redução no valor L^* é resultado da diminuição do brilho. Por outro lado, um aumento no valor a^* indica uma mudança na cor para o vermelho, e um aumento no valor b^* sinaliza uma mudança para o amarelo após a modificação térmica. A elevação dos valores de a^* pode ser atribuída à volatilização dos extrativos fenólicos, que dão à madeira sua cor vermelha. A alteração nos valores de b^* é resultante da degradação dos grupos cromóforos da lignina e dos extrativos da madeira (TORNIAINEN et al., 2021).

Dessa forma, o objetivo desse trabalho foi avaliar as modificações ocorridas nas variáveis cromáticas, luminosidade e saturação da cor da madeira no plano radial e tangencial submetida ao processo de modificação térmica.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 *Preparação das amostras*

Foram utilizadas amostras de duas árvores de mogno africano (*Khaya ivorensis*), com aproximadamente 33 anos de idade, oriundas do campus da EMBRAPA Agrobiologia, Seropédica, RJ. Estes foram desdobrados e levados para o Laboratório de Propriedades Físico-mecânicas da Madeira do Departamento de Produtos Florestais da UFRRJ, para serem climatizados em ambiente com umidade relativa média de 65% e temperatura média de 20°C. Posteriormente foram desdobrados em amostras com 400 mm x 65 mm x 29 mm, no comprimento, largura e espessura, respectivamente. Sendo 24 amostras no plano radial e 24 no plano tangencial. Após o desdobro, o material permaneceu em ambiente climatizado, nas mesmas condições anteriores.

2.2 *Determinação da luminosidade e das variáveis cromáticas*

Com o intuito de se obter uma superfície livre de oxidação, todas as amostras passaram por lixamento e aplainamento, uma vez em cada face tangencial e radial, para posterior determinação da cor. Para determinação da cor, foi utilizado o espectrofotômetro portátil Konica Minolta CM 2600d, apresentado na Figura 1, que utiliza o sistema de medição internacional CIE 1976. Foram realizadas duas medições por contato direto entre a superfície da amostra em três áreas pré-determinadas ao longo do comprimento (duas nas extremidades e uma central) em cada face. No total foram 12 medições para o plano lixado e 12 para o plano aplainado, tanto nas amostras com orientação radial quanto tangencial, totalizando 576 medições para cada tipo de tratamento.

Figura 1. Procedimento para obtenção das variáveis de cor através do espectrofotômetro portátil Konica Minolta CM 2600d.



As variáveis cromáticas são representadas pelas letras: a^* (verde-vermelho) e b^* (azul- amarelo) que variam de -60 à +60, sendo que o sinal negativo na variável a^* e b^* representam respectivamente aumento na cor verde e azul, enquanto o sinal positivo indica um aumento respectivamente na cor vermelha e amarela. Já a luminosidade, variável L^* , varia de zero (preto) à cem (branco) e representa somente a luminosidade. Foi analisada também a variável C , referente à saturação da cor. A variável C é calculada como sendo a soma dos quadrados de a^* e b^* e após a soma é calculado a raiz quadrada. Durante todo o procedimento, utilizou-se diâmetro de 3 mm (SAV), o iluminante padrão D65 e observador padrão suplementar 10°.

2.3 Modificação térmica

A modificação térmica ocorreu às temperaturas de 160°C, 180°C e 200°C, totalizando 12 amostras por temperatura, sendo que um lote não recebeu nenhum tipo de tratamento, denominado NT. Para este procedimento, foi utilizado um forno mufla elétrico da marca Linn Elektro Therm.

Os tratamentos de modificação térmica foram realizados em quatro etapas para cada temperatura, sendo estas: (1) as amostras foram aquecidas até a temperatura de 100°C em um período de 120 minutos; (2) a temperatura foi de 100 °C até a temperatura estabelecida para a modificação térmica em cada tratamento, sendo assim: 160°C, 180°C e 200°C com taxa constante de aquecimento de 2°C/minuto; (3)

as amostras permaneceram na temperatura de modificação térmica por 90 minutos e (4) as amostras permaneceram por 120 minutos dentro da mufla até o resfriamento do material (Figura 1). Posteriormente as amostras foram climatizadas nas condições descritas anteriormente e medidas para avaliação do efeito da modificação térmica na cor da madeira.

2.4 Análise estatística

Utilizou-se o software Statsoft 14.0 e foi aplicado o teste de análise de variância para verificar o efeito das temperaturas e plano de corte, nas propriedades cromáticas. Teste de normalidade e heterocedasticidade foram aplicados e as variáveis estudadas apresentaram distribuição normal e variâncias homogêneas, ao nível de 5% de significância. Teste de Tukey, quando necessário, foi utilizado para verificar diferenças entre as médias

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na tabela 1 é apresentado a análise de variância. Foi observado diferença para as variáveis cromáticas da madeira em função do plano de corte e tratamento da madeira.

Tabela 1. Análise de variância das coordenadas cromáticas, luminosidade e saturação da cor após tratamento térmico, sob efeito do tipo de corte, temperatura de tratamento e interação corte*tratamento

Efeito	GL	L		a*		b*		C	
		F	p	F	p	F	p	F	P
Plano de Corte	1	9,18	0,00	2,43	0,13	9,18	0,00	1,40	0,24
Tratamento	3	36,91	0,00	5,58	0,00	36,91	0,00	15,13	0,00
Resíduo	280								

Em que: F valor do teste F e p é probabilidade.

As variáveis analisadas foram a*, b*, L* e C, sendo as duas primeiras variáveis cromáticas (a* e b*), as quais obtiveram valores médios antes do tratamento de 14,12 e 21,32 e após o tratamento térmico 13,56 e 19,01, respectivamente. Já as variáveis L* e C resultaram em uma média de 56,90 e 25,63 antes e 52,29 e 23,56 após a modificação térmica, respectivamente.

Houve uma redução de pigmentação vermelha e amarela (a^* e b^*), uma diminuição de luminosidade (L^*) e saturação (C). Com relação ao L^* , houve um menor efeito da luminosidade após o tratamento térmico, ou seja, a madeira refletiu menos a luz projetada pelo espectrofotômetro. A variável C que representa a saturação da cor, também se apresentou menor após tratamento. Esta análise representa os resultados de forma geral, não sendo considerado o efeito do tratamento, nem do corte, que serão discutidos a seguir (Tabela 2).

Tabela 2. Valores das coordenadas cromáticas da madeira de antes e depois da modificação térmica, em função das diferentes temperaturas de tratamento e dos planos de corte da madeira.

Plano de Corte	Tratamento °C	a^*		b^*		L		C	
		Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois	Antes	Depois
R	NT	14,0 ^a 1,3		21,0 ^a 2		56,6 ^a 8		25,3 ^a 1,2	
	160	14,1 ^a 1,3	14,2 ^a 0,9	20,7 ^a 1,9	19,2 ^a 1,28	55,3 ^a 9	53,5 ^a 8,2	25,1 ^a 2	23,9 ^a 2,31
	180	14,2 ^a 1,6	13,5 ^a 1,1	20,8 ^a 2,4	17,2 ^b 1,45	53,4 ^a 6	46,8 ^b 7,9	25,2 ^a 1,5	21,9 ^b 2,77
	200	14,6 ^a 0,6	13,4 ^a 1,3	20,3 ^a 0,9	16,5 ^c 1,55	53,7 ^a 8	45,1 ^b 5,3	25,1 ^a 1,8	21,3 ^b 1,79
	Média	14,2 ^A	13,7	20,7 ^A	17,6	54,8 ^A	48,5 ^A	25,2 ^A	22,4 ^A
T	NT	14,2 ^a 1,2		22,2 ^b 1,9		59,7 ^a 5		26,4 ^a 2,3	
	160	14,1 ^a 1	13,7 ^a 1	21,9 ^a 1,5	20,2 ^a 1,49	58,3 ^a 3	56,1 ^a 4,8	26,0 ^a 2,2	24,4 ^a 2,1
	180	13,7 ^a 1,6	13,5 ^a 1,1	21,3 ^a 2,4	18,6 ^b 1,48	58,8 ^a 4	53,5 ^a 5,1	25,5 ^a 1,6	23,0 ^a 2,82
	200	14,1 ^a 1,1	12,1 ^b 1,6	22,5 ^b 1,8	17,1 ^c 2,32	59,5 ^a 3	46,5 ^b 4,1	26,6 ^a 1,3	21,0 ^b 2,93
	Média	14,0 ^A	13,1	22,0 ^B	18,6	59,1 ^B	52,0 ^B	26,1 ^B	22,8 ^A

Em que: valores sobrescritos são os valores de desvio-padrão e letras minúsculas distintas, mostram diferenças entre as médias das coordenadas associadas as temperaturas de tratamento e letras maiúsculas entre os planos de corte. R é o plano radial e T é o tangencial.

Observa-se que antes do processo de tratamento, não houve diferença na variável a^* entre os grupos. Após tratamento térmico, os valores de a^* , nos dois planos de corte sofreram, decréscimos, sendo estes mais aparentes no plano de corte tangencial, principalmente no tratamento de 200°C, o qual variou aproximadamente de 14,00 para 12,10 enquanto que no plano radial a variação foi de aproximadamente de 14,20 para 13,40. Em ambos os cortes, o decréscimo progressivo, com o aumento da temperatura, é observado quando comparadas as amostras tratadas com as não tratadas, indicando coloração menos avermelhada. Ressaltasse que no tratamento a 160 °C, no plano radial, quase não houve variação com relação às amostras não

tratadas.

Antes da modificação térmica, os valores de b^* apresentaram-se maiores no plano tangencial do que no radial, sendo que no lote de 180°C, assim como na variável a^* , o valor é menor do que os demais.

Os valores de b^* resultaram em um decréscimo quase linear de aproximadamente 5 unidades após o tratamento térmico, também diminuindo conforme o aumento de temperatura, nos dois planos de corte e atingindo seus menores valores nos tratamentos de 200°C, indicando uma tonalidade menos amarelada, sendo que esta quanto mais próxima de -60, mais azulada será. Os resultados após o tratamento foram mais homogêneos entre os planos de corte radial e tangencial, diferentemente da variável a^* que não mostrou um padrão de decréscimo.

Os valores naturais de luminosidade (L^*) da madeira de mogno africano, ou seja, a luminosidade das amostras não tratadas, estão na faixa de 53-57 para o plano radial, e 58-60 para o plano tangencial, revelando uma maior luminosidade para este último plano. Por comparação de médias pelo teste Tukey, é possível observar que essa diferença se deu estatisticamente nos tratamentos de 180 e 200°C no plano radial, e 200°C no plano tangencial. Sikora et al., (2018) estudando a madeira de *Quercus robur*, encontraram redução de 50% da luminosidade para temperaturas acima de 210°C.

Os resultados de L^* diminuiu conforme o aumento da temperatura dos tratamentos, ou seja, houve um aumento do preto, o que já era esperado. Após a modificação térmica há uma tendência de escurecimento da madeira, há uma redução da claridade da madeira que pode ser associada à diminuição do teor de holocelulose. O escurecimento se deu nos dois planos, porém é possível observar que no plano tangencial, os valores de L^* são mais elevados indicando que este plano reflete naturalmente mais a luz incidida sobre as amostras, mesmo após a modificação térmica.

A diferença entre os planos de corte antes e após a modificação térmica se manteve somente na temperatura de 180°C. Já na temperatura de 200°C essa diferença deixou de existir, indicando que houve uma uniformização da luminosidade.

4. CONCLUSÃO

Os diferentes planos de corte apresentaram diferenças nas variáveis cromáticas (b^* , C) e na luminosidade antes da modificação térmica da madeira. Após o processo de modificação térmica a madeira ficou menos avermelhada pela redução da pigmentação (a^*) na temperatura de 200°C. À medida que temperatura de tratamento aumentou, a variável b^* diminuiu, em ambos os planos. A luminosidade reduziu com o aumento da temperatura de tratamento, principalmente para as temperaturas de 180°C e 200°C. O calor aplicado reduziu a saturação (C) das cores da madeira.

5. REFERÊNCIAS

GAFF, M. et al. Impact of thermal modification on color and chemical changes of African padauk, merbau, mahogany, and iroko wood species. **Reviews on Advanced Materials Science**. 62: 20220277, 2023.

HILL, C.; ALTGEN, M.; RAUTKARI, L. Thermal modification of wood—A review: Chemical changes and hygroscopicity. **J. Mater. Sci.** v. 56, p. 6581–6614, 2021.

LOPES, J.O.; GARCIA, R.; A.; NASCIMENTO, A. M. do; et al. Propriedades físicas da madeira de teca termorretrificada. **Floresta e Ambiente**, v. 21, n. 4, p. 569–577, 2014.

MORI, C.L.S.O.; LIMA, J.T.; MORI, F.A.; et al. Caracterização da cor da madeira de clones de híbridos de Eucalyptus spp. **Cerne** 2005; 11(2): 137-146.

SIKORA, A.; FRANTIŠEK, K.; GAFF, M.; et al. Impact of thermal modification on color and chemical changes of spruce and oak wood. **Journal of Wood Science**, v. 64, n. 4, p. 406–416, 2018.

TORNIAINEN, P; POPESCU, C-M; JONES, D.; et al. Correlation of Studies between Colour, Structure and Mechanical Properties of Commercially Produced ThermoWood® Treated Norway Spruce and Scots Pine. **Forests**, v. 12, n. 9, p. 1165–1165, 2021.

ZHUANG, Z.; LIU, Y.; DING, F.; et al. Online Color Classification System of Solid Wood Flooring Based on Characteristic Features. **Sensors**, v. 21, n. 2, p. 336–336, 2021.