



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DA MADEIRA TRATADA TERMICAMENTE

aline neves¹

vanesssa gonçalves coelho¹

Alexandre Nascimento¹

¹ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO DAS MADEIRAS TRATADAS TERMICAMENTE

RESUMO: Madeiras de *Corymbia citriodora*, *Khaya ivorensis* e *Pinus caribae* var. *caribae* foram submetidas à ação do calor num processo denominado de “tratamento termico”, conduzido em estufa elétrica laboratorial, com temperaturas de 160°, 180° e 200°C e não tratada, sendo elas em planos radiais e tangenciais. Foram estudadas as alterações que o tratamento térmico proporcionou às características da madeira, em relação a resistência ao cisalhamento. Os resultados indicaram que a madeira de citriodora reduziu significativamente os valores de resistência ao cisalhamento ao entrar em contato com altas temperaturas, a madeira de mogno foi reduzindo sua resistência gradualmente conforme o aumento da temperatura, e o pinus se manteve constante, sendo todas elas mais afetadas no plano radial que no tangencial. Concluindo que o processo de cisalhamento depende tanto da temperatura quanto da espécie estudada.

PALAVRAS-CHAVE: *Corymbia citriodora*, *Khaya ivorensis* e *Pinus caribae*, Madeira termorretificada, cisalhamento.

SHEAR STRENGTH OF IN HEAT TREATED WOOD

ABSTRACT: *Corymbia citriodora*, *Khaya ivorensis* e *Pinus caribae* var. *caribae* woods were conditioned to a heating treated wood process, conducted in a laboratory electrical furnace, with temperatures of 160°, 180°, 200°C and none temperature, being in radial and tangential planes. Were studied the changes that the wood heat treating could provide to the characteristics of the wood, in relation to the shear strength. The results indicated that the citrodora wood reduced the values of shear strength when get in into contact with high temperatures, the mogno wood was reduced to its strength as the temperature increased, the pinus remained constant, all of which were more affected not a radial plane other than a tangential plane. In conclusion, the shear process depends on both the temperature and the studied species.

KEYWORDS: *Corymbia citriodora*, *Khaya ivorensis* e *Pinus caribae*, “heat treated wood”, shear.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, pesquisas sobre a importância de usos de construção de mobiliário e para fins estruturais de madeira de reflorestamento vem sendo reforçada, principalmente na região sul e sudeste. Os resultados destas pesquisas têm potencializado o uso das madeiras de reflorestamento e de rápido crescimento, por exemplo, espécies do gênero pinus e do gênero eucaliptos, reduzindo o impacto sobre espécies de madeira nativa (PINCELLI, et al 2002).

Um exemplo atual de madeira exótica é o mogno africano, espécie africana, que foi introduzido no Brasil visando substituir o mogno brasileiro que atualmente é protegido por lei quanto a sua exploração e comercialização. Além de ser semelhantes quanto suas características tecnológicas, o mogno africano é resistente ao microlepidóptero *Hypsiphyla grandella*, que é a principal praga do mogno brasileiro (GASPAROTTO et al., 2001).

Silva et al. (2014), estudando a densidade e coloração da madeira de mogno africano e sua variação da medula em direção a casca, observou densidade aparente média de 0,72 g/cm³, além de ter observado variação de aproximadamente 27% da saturação da cor da madeira de mogno.

Moura et al. (2012), em estudo com madeira de reflorestamento, observou que madeira de *Eucalyptus grandis* com 18 anos de idade teve alterações das propriedades mecânicas, quando submetidas a tratamento térmico, revelando uma melhoria da rigidez da madeira, na ausência de oxigênio, à medida que se aumentava a temperatura em 20°C, o mesmo ocorrendo com a madeira de *Pinus caribae*, var. *hondurensis*. Quanto à resistência ao cisalhamento e na flexão, observaram-se maiores alterações de resistência e no caso da compressão, pouco foi afetado pelo efeito dos tratamentos térmicos.

Calonego (2014), também estudou as propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus grandis* com 30 anos de idade, divididas em madeira juvenil e madeira madura, e observou que a influência do tratamento térmico, no lenho juvenil foi menor do que no lenho adulto o que ocasionou uma maior uniformização nas propriedades físicas entre esses dois tipos de lenho.

Moura et al, 2012, num estudo com madeira de reflorestamento observou que madeira de *Eucalyptus grandis*, quanto à resistência ao cisalhamento e na flexão, observaram-se maiores alterações de resistência e no caso da compressão, pouco foi afetado pelo efeito da temperatura.

As propriedades mecânicas da madeira termorretificada foram estudadas por Pincelli, et al (2002), de acordo com os autores, o grau de redução das propriedades mecânicas é dependente da madeira utilizada no tratamento, da temperatura máxima alcançada no processo, e do tempo exposição ao calor. Quanto maior a temperatura utilizada, menor será a resistência mecânica da madeira e maior a sua fragilidade, tornando-se quebradiças em relação as testemunhas não tratadas.

As referencias indicam a necessidade de estudar as propriedades mecânicas das diferentes espécies. Nesse contexto, o trabalho tem como objetivo estudar a resistência ao cisalhamento e rigidez da madeira sólida de *Corymbia citriodora*, *Khaya*

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

ivorensis e *Pinus caribaeae* nas madeiras tratadas e não tratadas termicamente referentes aos planos radiais e tangenciais.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas árvores de *Corymbia citriodora* (citriodora) com aproximadamente 60 anos de idade, árvores de *Khaya ivorensis* (mogno africano) e *Pinus caribaeae* (pinus). As toras obtidas foram desdobradas em pranchões com 3,6m x 0,07 x 0,40 m, e armazenadas em ambiente climatizado, devidamente tabicadas, com umidade relativa média de 65% e temperatura média de 20°C. Depois de climatizado o material, foram produzidas amostras com dimensões de 400 x 60 x 28 mm (comprimento x largura x espessura), cortadas radialmente, tangencialmente e após a produção das amostras, foram novamente climatizadas em ambiente com umidade e temperatura controlada. Após o equilíbrio das amostras, foram pesadas e medidas as suas dimensões e calculada a densidade aparente. Com isto pode-se escolher as amostras de forma sistemática garantindo que os diferentes tratamentos tenham a mesma densidade aparente e assim evitar a densidade com covariável. O delineamento experimental foi estabelecido de modo a avaliar o efeito dos planos de colagem (radial e tangencial) da madeira de Citriodora, pins e mogno africano tratada e não tratada termicamente (ver Figura 1).

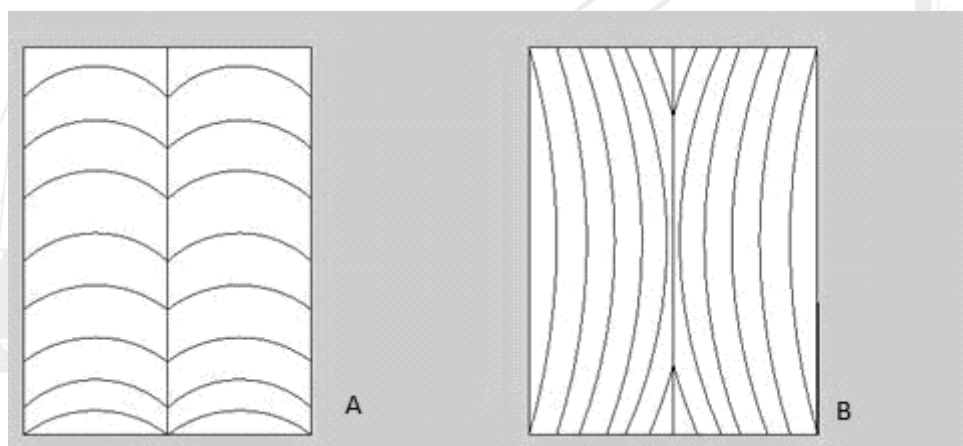


Figura 1. Planos de colagem: (A) radial e (B) tangencial.

Parte das madeiras de cada espécie foi tratada termicamente a 160°, 180° e 200°C e um lote não tratado destinado como controle. O tratamento térmico das amostras de madeira foi realizado em um forno mufla elétrico laboratorial, da marca Linn Elektro Therm, com as seguintes dimensões 60 x 60 x 70 cm e equipado com um sistema de controle de temperatura e tempo.

Os tratamentos de termorretificação foram realizados em quatro etapas, sendo elas: 1) aquecimento do material até 100°C para eliminação completa da água durante 120 minutos; 2) aumento da temperatura de 100°C até a temperatura de tratamento térmico desejada (160, 180 ou 200°C) durante 60 minutos; 3) tempo de permanência na temperatura de termorretificação (90 minutos); e 4) resfriamento do material. Após o tratadas termicamente, as amostras foram recondicionadas em câmara climática à 20°C e 65% UR até atingir o teor de umidade de equilíbrio e então utilizadas para determinação de alguma propriedades e avaliações.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

As amostras foram reprocessadas, redimensionadas e padronizadas em suas dimensões ficando com dimensão final de 320 x 55 x 19 mm (comprimento x largura x espessura). Após esta etapa todas as amostras foram novamente medidas e pesadas de modo que a densidade aparente da madeira tratada fosse novamente calculada.

2.1. Determinação da densidade aparente e umidade de equilíbrio

As propriedades físicas da madeira que foram avaliadas foram: a densidade aparente, o teor de umidade de equilíbrio das amostras termorretificadas e do controle. A densidade aparente foi determinada segundo a norma NBR- 7190. Para tal, o peso e volume foram obtidos após o acondicionamento em câmara climática a 20°C e 65% de UR. As amostras foram todas pesadas e medidas para obter o volume.

$$DENS = M/V$$

Onde: M = massa e V = Volume.

O teor de umidade de parte das amostras foi determinado por medidor de contato SULTECH ST7500, antes do tratamento térmico e pelo método em estufa após tratamento térmico.

2.2. Ensaio de resistência ao cisalhamento na madeira sólida

As amostras radiais coladas foram cisalhadas perpendicularmente ao plano de colagem, ou seja, na direção tangencial. As amostras tangenciais coladas foram cisalhadas na direção radial. Assim foi avaliada a resistência da madeira sólida não termorretificadas e termorretificadas a 160, 180 e 200°C. Após o cisalhamento, foi avaliada a presença ou não de fissura presente nas madeiras. As dimensões das amostras de madeira sólida foram definidas segundo a norma ASTM D143 (1994)

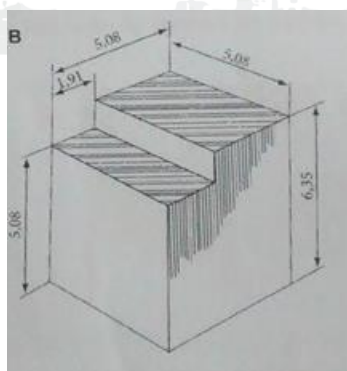


Figura 2- Dimensões do corpo de prova para o teste de *cisalhamento* de madeira sólida segundo a norma ASTM D143 (1994).

Os testes mecânicos foram realizados em máquina de ensaio universal com capacidade de 300 kN. O teste de cisalhamento foi feito segundo a ASTM D 905 e calculado segundo a seguinte equação:

$$f_v = \frac{P_{\text{máxima}}}{A}$$

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

onde: f_v = resistência ao cisalhamento paralelo às fibras (MPa); $P_{máxima}$ = carga máxima aplicada até ruptura (N); e A = área da seção cisalhante (mm²).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Densidade aparente

Os resultados de alteração de densidade das peças usadas nos ensaios de madeira sólida são apresentados na Tabela 1.

A densidade da madeira interfere diretamente com a anatomia da madeira que se torna diferente de espécie para espécie. Analisou-se que os planos de corte não tem interferência em relação ao plano das diferentes madeiras

Notou-se que com o aumento da temperatura, a densidade tende a diminuir independente do corte ou da espécie. E que em relação as espécies, a madeira que teve maior densidade foi a espécie de citriondora, que ao entrar em contato com altas temperaturas teve uma queda significativa em relação a sua densidade na temperatura ambiente.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





Tabela 1. Densidade das madeiras de citriodora, mogno e pinus tratadas e não tratadas termicamente nos planos radial e tangencial.

Pinus

Tratamentos	Corte Radial		Corte Tangencial	
	antes	depois	antes	depois
NT – controle	0,601	0,601	0,573	0,573
160°C	0,580	0,539	0,582	0,556
180°C	0,578	0,528	0,570	0,538
200°C	0,604	0,565	0,575	0,546
média	0,590	0,552	0,574	0,551

Mogno

Tratamento	Corte Radial		Corte Tangencial	
	antes	depois	antes	depois
NT - controle	0,648	0,648	0,501	0,502
160°C	0,661	0,636	0,552	0,548
180°C	0,659	0,639	0,553	0,549
200°C	0,668	0,639	0,560	0,545
média	0,660	0,639	0,552	0,546

citriodora

Tratamento	Plano Radial		Plano Tangencial	
	Antes	Depois	Antes	Depois
NT - controle	1,040	1,041	1,030	1,031
160°C	1,048	1,021	1,037	1,022
180°C	1,042	0,978	1,039	0,975
200°C	1,050	0,945	1,059	0,963
média	1,045	0,999	1,038	0,998

3.2. Teor de umidade

Os valores médios do teor de umidade de equilíbrio antes e após o tratamento térmico estão apresentados na Tabela 2. O teor de umidade de equilíbrio da madeira de pinus antes do tratamento apresentou média de 15,05 %, enquanto que após a termorreificação houve uma queda nas temperaturas de tratamento de 160°C, 180°C e 200°C, respectivamente. Os valores de umidade de mogno africano foram próximos da madeira de pinus, sendo um pouco inferior numericamente. Já os valores da umidade de citriodora foram significativamente mais baixos que as outras espécies comparadas.

Observa-se que à medida que se aumenta a temperatura de tratamento, há uma diminuição do teor de umidade de equilíbrio. Tal resultado corrobora com o que afirma Gouveia (2008), de que após o tratamento térmico, a madeira tende a diminuir



III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

sua higroscopicidade devido à degradação da matriz hidroreativa composta por lignina e hemicelulose presente na parede celular, e a substituição de grupos de hidroxilas hidrofílicos por grupos hidrofóbicos.

Tabela 2. Teores de umidade de equilíbrio das madeiras naturais e tratadas termicamente para diferentes temperaturas de tratamento

Tratamentos	<i>Khaya ivorensis</i>	<i>Pinus caribae</i>	<i>Corymbia citriodora</i>
	média	média	media
NT - controle	14,7	15,0	12,8
160°C	10,0	11,7	10,1
180°C	9,4	10,4	8,9
200°C	7,2	7,9	7,0

3.3. Resistência ao cisalhamento de madeira sólida

Na tabela 3 mostram os diagramas comparativos com o teste de Tukey a 5% de probabilidade para a resistência ao cisalhamento, para os três tipos de madeira sólida considerando-se os diversos tratamentos e planos de corte.

Apresenta-se os valores médios de resistência ao cisalhamento da madeira sólida de citriodora, mogno e pinus em função da temperatura e do plano de corte (radial e tangencial). Ao analisar a madeira de citriodora, notou-se que quando maior a temperatura, menor foi a resistência ao cisalhamento, obtendo uma diferença significativa ao entrar em contato com a temperatura de 160°C no plano radial, e ao entrar em contato com 180°C no plano tangencial.

Ao analisar a madeira de mogno, notou-se uma queda não significativa da tensão ao cisalhamento em relação as temperaturas. Já na madeira pinus não ocorreu queda da resistência ao cisalhamento, sendo constante em relação as temperaturas.

Em relação aos planos de corte tangencial-longitudinal e radial-longitudinal, há uma diferença significativa em relação aos planos da madeira de citriodora a partir da temperatura de 160°C, onde o plano tangencial- longitudinal teve maior resistência em relação ao plano radial-longitudinal. Já na madeira de mogno, ocorreu diferença significativa em relação aos planos tanto na madeira não tratada, quanto na tratada, tendo uma maior resistência o plano tangencial-longitudinal.

E por fim, a madeira de Pinus que não apresentou diferença significativa em relação aos planos de corte. Tal resultado corrobora, com o que afirma Boonstra (2006), que algumas espécies de madeira macia podem apresentar pequenas fissuras entre traqueídeos, mas que o tratamento térmico não causa danos nas membranas do

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

parênquima. Embora isso dependa das espécies de madeira considerada e dos métodos e condições do processo.

Notou-se que o plano radial teve menos resistência ao cisalhamento visto que o cisalhamento foi feito paralelo aos raios, sendo eles o ponto fraco da madeira. Essa distinção dos planos vai aparecer principalmente nas espécies de folhosas (citriodora e mogno).

Tabela 3. Resistência ao cisalhamento das madeiras de citriodora, mogno e pinus tratadas e não tratadas termicamente nos planos radial e tangencial.

Tratamento	Citriodora		Mogno		Pinus	
	tangencial	radial	tangencial	radial	tangencial	radial
NT- Controle	19,1 ^{Aa}	18,1 ^{aA}	16,7 ^{aA}	10,8 ^{cdB}	12,4 ^{aB}	11,6 ^{aB}
	(2,01)	(2,02)	(1,83)	(1,25)	(2,15)	(1,32)
	17,6 ^{aA}	6,0 ^{bB}	15,7 ^{aA}	9,8 ^{cdAB}	11,0 ^{aB}	10,7 ^{aA}
160	(1,52)	(1,62)	(1,55)	(1,24)	(1,61)	(1,37)
	10,2 ^{bB}	5,8 ^{bB}	14,6 ^{abA}	9,0 ^{cdAB}	12,3 ^{aAB}	11,1 ^{aA}
180	(1,21)	(1,18)	(1,68)	(1,47)	(1,96)	(1,63)
	7,7 ^{bB}	3,8 ^{bB}	11,9 ^{bcA}	8,1 ^{dA}	12,8 ^{aA}	11,2 ^{aA}
200	(1,00)	(1,25)	(1,85)	(1,34)	(1,95)	(2,01)
Média	13,5	8,4	14,7	9,4	12,1	11,1

Letras minúsculas distintas mostram diferenças estatísticas na mesma linha e letras maiúsculas entre colunas, pelo teste de Tukey a 5% de significância, dentro de cada espécie individualmente. Valores entre parênteses são os desvios padrões

Ao analisar a Figura 3, observou-se a diferença entre a resistência ao cisalhamento da madeira sólida de citriodora, mogno e pinus em função da temperatura de tratamento dos planos de corte. Onde notou-se uma maior variação de resistência na madeira de citriodora em relação a madeira de mogno e pinus.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

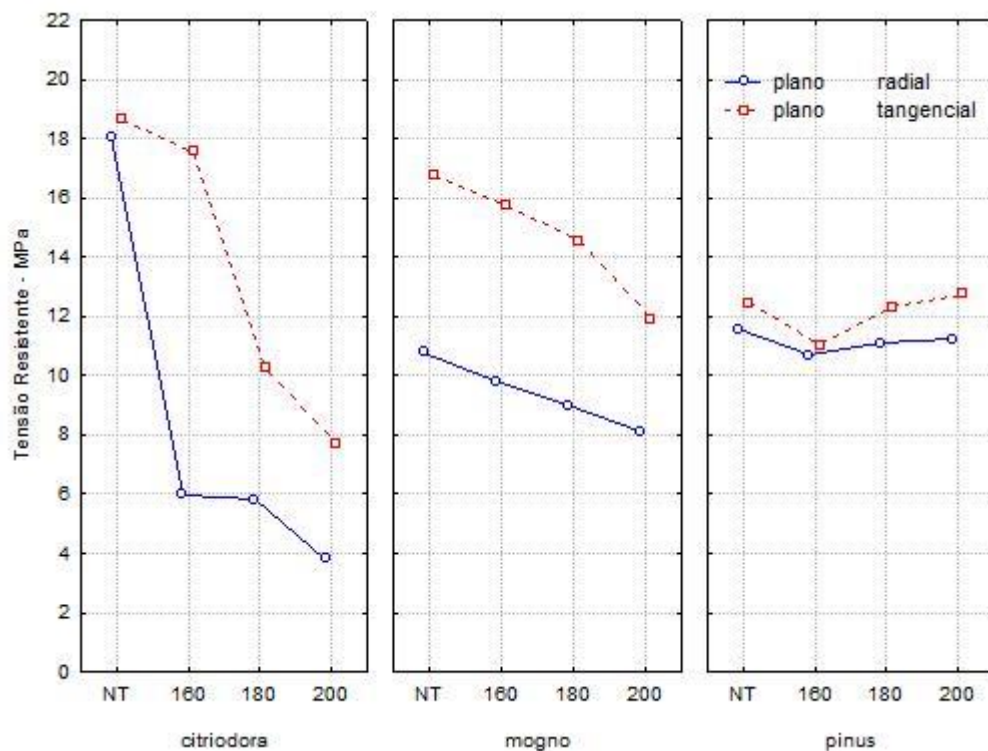


Figura 3. Resistência média ao cisalhamento das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Khaya ivorensis* e *Pinus caribaea* var. *caribaea* em função dos planos de corte das amostras e do tratamento térmico.

3.4. Fissuração da madeira

Com o cisalhamento notou-se que não houve fissura nas madeiras de mogno e Pinus. Já na madeira de Citriodora houve bastante fissura, sendo elas paralelas aos raios e teoricamente perpendicular ao plano de corte, tendo em vista a queda brusca de resistência.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017



Figura 4. Da esquerda para direita: Peças de madeiras não tratadas, tratadas a 160°, 180° e 200°C respectivamente da madeira de pinus no plano tangencial e radial

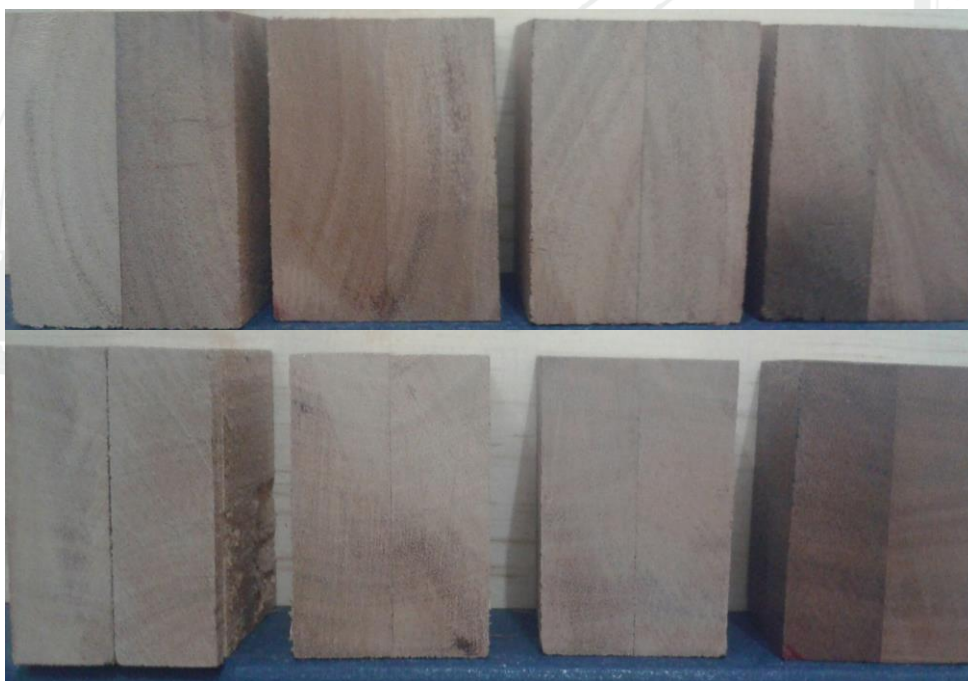


Figura 5. Da esquerda para direita: Peças de madeiras não tratadas, tratadas a 160°, 180° e 200°C respectivamente da madeira de mogno, nos planos tangencial e radial

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

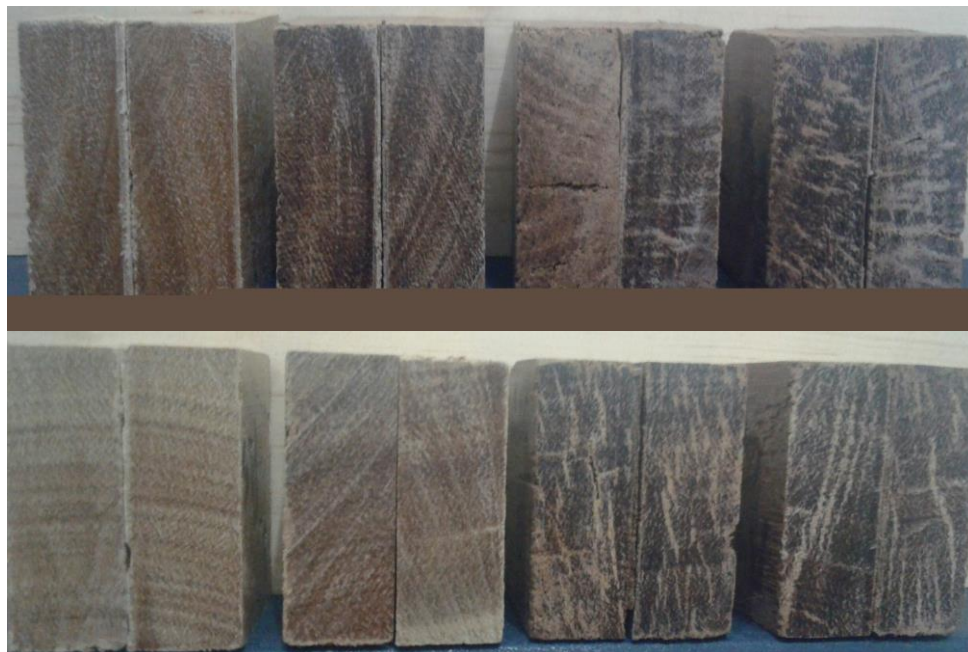


Figura 6. Da esquerda para direita: Peças de madeiras não tratadas, tratadas a 160°, 180° e 200°C respectivamente da madeira de citriodora, no plano tangencial e radial

3. CONCLUSÕES

Para a madeira de citriodora e mogno a madeira sólida foi afetada pelas retificações térmicas, tendo uma maior proporção na Citriodora. Já na madeira de Pinus as madeiras não foram afetadas pelo aumento de temperatura, se mantendo constante.

Para os planos de corte relacionados, houve uma maior perda de resistência no plano radial em relação ao plano tangencial. Isso quer dizer, que há uma maior fragilidade dos raios sendo cisalhado paralelamente a eles.

A avaliação da quantidade de fissura através do teste de cisalhamento, indicou que a incidência da mesma foi maior na madeira de Citriodora, principalmente nas altas temperaturas. Isso significa que a ocorrência de queda brusca de resistência em relação a temperatura, pode acarretar danos anatômicos na madeira.

Com isso, pode-se concluir que o cisalhamento vai agir diferentemente em relação as temperaturas e principalmente em relação as espécies.

4. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao PIBIC/ UFRRJ pela bolsa de iniciação científica que serviu de apoio para a realização do trabalho.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO





III CBCTEM

Congresso Brasileiro de Ciência
e Tecnologia da Madeira
Florianópolis - 2017

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CALONEGO, F. W.; SEVERO, E. T. D.; LATORRACA, J. V.; Effect of Thermal Modification on the Physical Properties of Juvenile and Mature Woods of *Eucalyptus grandis*. **Floresta e Ambiente**, Seropédica, v. 21, n.1, p.108-113, 2014.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood Handbook – Wood as an Engineering Material**. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 2010.

M.J. Boonstra, J.F. Rijdsdijk, C. Sander, E. Kegel, B. Tjeerdsma, H. Militz, J. vanAcker, M. Stevens; MICROSTRUCTURAL AND PHYSICAL ASPECTS OF HEAT TREATED WOOD. PART 1. SOFTWOODS; *Maderas. Ciencia y tecnología* 8(3): 193-208, 2006

MOURA, L. F.; BRITO, J. O.; BORTOLETTO JÚNIOR, G. Efeitos da termorretificação na perda de massa e propriedades mecânicas de *Eucalyptus grandis* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. **Floresta**, Curitiba, v. 42, n. 2, p. 305 - 314, abr./jun. 2012

PINCELLI, A.L.P.S.M.; BRITO, J.O.; CORRENTE, J.E. (2002). Avaliação da termorretificação sobre a colagem na madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. *Scientia Forestalis*, n. 61, p. 122-132.

SILVA, L.V.M.S.; NASCIMENTO, A.M.; GARCIA, R.A. Variação radial da densidade, umidade e coloração da madeira de mogno africano (*Khaya ivorensis* a. chev.). XIV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira 28-30/Abril, 2014, Natal, RN, Brasil.

WORLD WIDE FUND FOR NATURE. Produção sustentável – Aquisição responsável de madeira na construção civil – guia prático para as construtoras. São Paulo, 2011. 71p.

REALIZAÇÃO



APOIO



ORGANIZAÇÃO

