

Higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* tratado ermicamente¹

Publicado na Revista Biomassa & Energia, Vol 1 N° 2 de Abr-Jun de 2004 pag 173-182

Lívia Marques Borges²; Waldir Ferreira Quirino, PhD³

RESUMO

A retificação térmica é um tratamento usado com diversos objetivos: conferir maior dureza superficial, maior resistência à degradação fúngica ou maior estabilidade dimensional. O tratamento térmico reduz a higroscopicidade da madeira através da degradação de seu constituinte mais hidrófilo que é a hemicelulose. Ao reduzir a capacidade da madeira permutar água com o meio, minimiza problemas de contração e inchamento. A menor variação dimensional da peça agrega valor ao produto comercializado permitindo utilização de madeiras antes descartadas, além da obtenção de um produto com maior qualidade. O objetivo deste trabalho foi verificar a modificação da higroscopicidade das amostras, após tratamentos térmicos. A retificação térmica foi feita em uma autoclave, seguindo 5 programas de temperatura: referência, 120°C, 140°C, 160°C e 180°C. Após os tratamentos, as amostras foram submetidas a duas condições diferentes de equilíbrio de umidade: condicionadas a um ambiente com 65% de umidade relativa e 20°C de temperatura; na segunda em um ambiente com 90% de umidade relativa e 19°C de temperatura. As amostras estabilizadas na condição de 65% foram transferidas na seqüência para a condição de 90% de umidade relativa. A umidade de equilíbrio das amostras submetidas às condições de 65% e 90% de umidade relativa foi analisada evidenciado que os tratamentos foram eficientes na redução da higroscopicidade. **Palavras-chave:** retificação térmica, higroscopicidade, *Pinus*, estabilidade dimensional.

1. Trabalho executado com Bolsa PIBIC/CNPq.

2. Bolsista. Aluna do Curso de Engenharia Florestal da Universidade de Brasília. (livialemon@hotmail.com)

3. Orientador. Pesquisador da Área de Energia da Biomassa do LPF/IBAMA. (waldir.quirino@ibama.gov.br)

ABSTRACT

Heat treatment of wood *Pinus caribaea* var. *hondurensis*

The heat treatment of wood is used to achieve several goals, such as higher surface hardness, increase resistance to fungi degradation, to release of residual growth stresses in logs and higher dimensional stability. The thermal treatment is a promising alternative, since it reduces hygroscopicity of wood by means of degradation of its most hydrophilic substance, which are hemicelluloses. Once reducing the capacity of wood to change water with the environment, the problems that arise from the shrinkage and swelling are minimized. The dimensional variation of the wood adds value to the commercialized product and allows the usage of wood that were previously discarded, as well as results in a product with a better quality. The objective of this work was to verify the changes in the hygroscopicity of the samples, after heat treatment. The heat treatment was done in an autoclave, following a temperature program, consisted of 5 treatments: control, 120°C, 140°C, 160°C and 180°C. After the treatments, the samples were saturated and then submitted to two different conditions of equilibrium moisture content. In the first condition, the samples were conditioned to an environment of 65% of relative humidity and 20°C of temperature; in the second, to an environment of 90% relative humidity and 19°C of temperature. The samples in equilibrium with the condition of 65% were then transferred to a condition of 90% relative humidity. The equilibrium moisture content of the samples that submitted to the conditions of 65% and 90% relative humidity were analyzed statistically showing that the thermal treatments were efficient for the reduction of the hygroscopicity of wood. The equilibrium moisture content of the treated samples were lower than that of the controls, decreasing as the treatment temperature increases, for the two air relative humidity used (65% and 90%). The only visual change in the wood was a light darkening in the color of the samples.

Key words: thermal rectification, heat treatment of wood, etc.

REVISÃO DE LITERATURA

A madeira é um material higroscópico, sendo capaz de absorver ou perder água para o meio ambiente. Essa característica é explicada pela constituição química da madeira,

composta pelos polímeros de celulose, hemiceluloses e lignina. Dentre essas substâncias, a hemicelulose é a mais hidrófila, contribuindo para a variação dimensional da madeira em função da troca de água com o meio.

A variação de umidade dentro das peças de madeira promove defeitos quando a peça atinge um teor de umidade inferior ao ponto de saturação das fibras — PSF (em torno de 28% de umidade). Desse modo, a variação dimensional pode ser controlada se os constituintes hidrófilos da madeira alterarem sua afinidade pela água. Através do tratamento térmico, essa higroscopicidade pode ser reduzida devido à degradação da hemicelulose e demais modificações na estrutura da madeira.

A madeira de *Pinus* sp. é designada na literatura internacional como “softwood”, ou seja, madeira macia ou de baixa densidade. Segundo BALLARIN & PALMA (2003), citando BENDTSEN (1978), foram encontradas densidades de $0,36 \text{ g/cm}^3$ para o lenho juvenil de *Pinus caribaea* e $0,68 \text{ g/cm}^3$ para o lenho adulto dessa mesma espécie. A durabilidade natural da madeira das espécies de *Pinus* sp. é estimada por vários autores como inferior a dois anos, se estiver em contato direto com o solo, segundo BARILLARI *et al.* (2002).

A madeira de uma árvore recém-abatida apresenta uma grande quantidade de água no seu interior. Segundo COSTA *et al.* (2001), algumas espécies de *Pinus* sp. apresentam uma proporção de água, em relação ao seu peso seco, superior a 100%.

O teor de umidade da madeira interfere nos tratamentos, como curvamento, preservação, secagem, colagem, fabricação de compensados e aglomerados, produção de carvão vegetal, processamento mecânico, entre outros (GALVÃO & JANKOWSKY, 1985). O estudo do comportamento das variações dimensionais da madeira é essencial para a sua utilização industrial. As relações existentes entre densidade, umidade, retratibilidade e expansão volumétrica são de fundamental importância para um aproveitamento mais eficiente dessa matéria-prima (REZENDE, 2003; REZENDE *et al.*, 1995).

A ocorrência de empeno na madeira está relacionada à variação dimensional e tem como algumas causas, segundo MENDES *et al.* (1998): as diferenças entre as contrações

radial, tangencial e longitudinal na peça de madeira (anisotropia), a presença de lenho juvenil e a presença de madeira de tração ou compressão. Segundo MOURA & BRITO (2001), o lenho de compressão é característico das coníferas, sendo caracterizado pelo maior teor de lignina e menor teor de celulose, o que pode influir na higroscopicidade da madeira.

Desse modo, madeiras que tenham maior quantidade de lenho juvenil tendem a apresentar maior variação dimensional, influenciando na qualidade final do produto obtido a partir dessa matéria-prima. Atualmente, com o decréscimo do suprimento de árvores adultas com grandes diâmetros, provenientes de florestas naturais, tornou-se comum a produção de madeira em ciclos curtos, através da adoção de espécies de rápido crescimento (BALLARIN & PALMA, 2003). Segundo os mesmos autores, é ressaltado que as propriedades químicas, físicas, anatômicas e mecânicas da madeira juvenil são diferentes e, em geral, inferiores às da madeira adulta.

A retificação térmica, no Brasil, é pouco pesquisada, apesar de seus benefícios comprovados em espécies de madeira da Europa, onde esse tipo de tratamento já foi bastante abordado. Atualmente, são comercializados no continente europeu, produtos retificados termicamente para pisos ou para a indústria siderúrgica. Segundo QUIRINO (2003), uma madeira de baixa densidade e macia adquire maior dureza superficial quando tratada termicamente em autoclave, tornando possível sua utilização em pisos, apesar de haver alteração na cor original da madeira. Além disso, já se constatou que esse mesmo tratamento aumenta a resistência à degradação fúngica, mas não tem efeito sobre a resistência à degradação de térmita, como é evidenciado por QUIRINO (1997). STAMM (1964) afirmou que a madeira estabilizada dimensionalmente pelo tratamento térmico adquire considerável resistência ao apodrecimento.

O tratamento térmico, com a finalidade de conferir estabilidade dimensional à madeira, tem sido pesquisada nos Estados Unidos desde a década de 40, quando STAMM patenteou esse processo de madeira tratada de “staybwood” (madeira estável).

Segundo PINCELLI *et al.* (2002), no Brasil, provavelmente, BRITO (1993) foi uma das primeiras referências sobre a termoretificação ao obter resultados sobre a

influência da temperatura na redução da massa, modificação na densidade e composição química da madeira e sobre a capacidade de retração volumétrica de *Eucalyptus saligna*.

QUIRINO (1997) desenvolveu um projeto de preservação de algumas espécies nativas da Caatinga e *Eucalyptus* sp. através de retificação térmica, confirmando dados da literatura, como a resistência ao ataque de fungos e a perda da resistência (ou flexibilidade) das espécies tratadas.

SEVERO *et al.* (2001) ao avaliar o resultado um tratamento em condições de temperatura de 100°C e umidade relativa de 100%, respectivamente, concluiu que a umidade de equilíbrio da madeira de *Eucalyptus dunnii*, e o teor de umidade de equilíbrio reduziu de forma significativa com esse tratamento.

QUIRINO & VALE (2002) realizaram a retificação térmica de *Eucalyptus grandis* e identificaram a sua temperatura de transição viscoelástica, verificando que não houve mudança com o tratamento. No trabalho de PINCELLI *et al.* (2002), a madeira de *Pinus caribaea* foi termorretificada com tratamentos na faixa de 120°C a 180°C, observando a influência desse aquecimento sobre a colagem na madeira. Foi observado para a madeira de *Pinus caribaea*, a tendência de que o aumento da temperatura de termorretificação ocasiona a redução na resistência ao cisalhamento na linha de cola.

Existem trabalhos sobre a estabilização dimensional da madeira, mas utilizando outros tratamentos, como é o caso de COSTA *et al.* (2001). Tais autores avaliaram a capacidade de um resíduo de origem petrolífera (LCO ou “Liquid Cycle Oil” – Ciclo do Óleo Líquido) no aumento da estabilidade dimensional das madeiras de *Pinus* sp. e *Mimosa scabrella*. Segundo STAMM (1964), quanto maior for a concentração da solução de tratamento, maior depósito permanecerá no interior da parede celular, reduzindo a contração da madeira proporcionalmente ao volume ocupado pelo soluto em solução. Assim, a estabilidade dimensional depende principalmente do preenchimento das fibras, o que pode produzir resultados não satisfatórios, dependendo da permeabilidade da peça.

QUIRINO & VALE (2002), analisando as possíveis modificações da madeira tratada termicamente, esclarecem que a maior estabilidade advém devido à redução na

higroscopicidade, pela degradação do constituinte mais hidrófilo que é a hemicelulose, pela quebra dos polímeros da lignina e pelo surgimento de novas ligações químicas entre eles, sendo o fenômeno denominado “reticulação”. Frente à elevação da temperatura, a degradação ocorre primeiro com as hemiceluloses, seguido da celulose e, por fim, da lignina. Esta última, embora comece a degradar em temperatura mais baixa (em torno de 150°C), observa-se que a sua degradação é mais lenta, ao contrário das hemiceluloses e da celulose (STAMM,1964; PENEDO,1982). Contudo, é relevante salientar que a degradação da lignina acontece na região de 250 a 500°C sem, no entanto, estar completa (PENEDO,1982). Já a hemicelulose degrada com mais facilidade devido a sua natureza amorfa e, por isso, menos estável.

A madeira retificada termicamente é obtida pelo princípio da termodegradação de seus constituintes na ausência de oxigênio, ou forte deficiência de ar. É definida, também, como o produto de uma pirólise controlada, interrompida antes de atingir o patamar das reações exotérmicas (que se iniciam aproximadamente à temperatura de 280°C), quando se inicia a combustão espontânea da madeira. MARABOTO *et al.* (1989), citando MATOS *et al.* (1981), conceituam pirólise como carbonização ou destilação seca, isto é, um processo em que a madeira é aquecida em uma atmosfera controlada.

Desse modo, ao promover a degradação da hemicelulose, a termoretificação confere à madeira um aspecto de baixa higroscopicidade. Essa redução da higroscopicidade pode ser facilmente identificada ao submeter amostras de madeira tratada e não tratada termicamente às mesmas condições de umidade. As amostras tratadas atingem um teor de equilíbrio menor do que as não tratadas, evidenciando a perda de higroscopicidade. Essa característica, portanto, impede que a peça permutue grandes quantidades de água com o meio, conferindo-lhe maior estabilidade dimensional. SEVERO *et al.* (2001) verificaram que os corpos-de-prova vaporizados não apresentaram o mesmo teor de umidade de equilíbrio dos corpos-de-prova controle, após o condicionamento em ambiente com temperatura de 21°C e umidade relativa de 65%, o

que corrobora a eficiência do tratamento térmico para fins de estabilização dimensional da madeira.

É interessante salientar que os resultados referentes à termorretificação dependem de um conjunto de fatores, como: taxa de aquecimento, temperatura final e tempo de tratamento, uso de atmosfera redutora ou oxidante, pressão e a espécie de madeira tratada.

METODOLOGIA

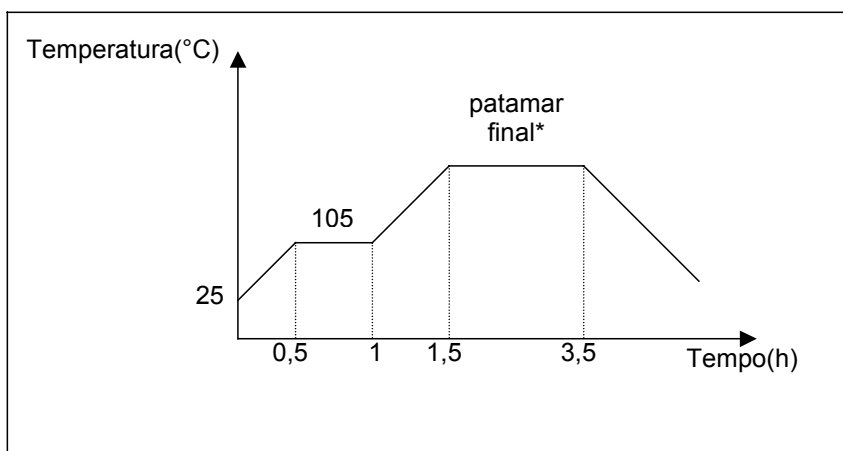
O projeto foi desenvolvido no Laboratório de Produtos Florestais no IBAMA, nas instalações do setor de energia da biomassa e setor de secagem de madeiras.

Foi utilizada a madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* proveniente de um reflorestamento de 9 anos, situado no município de Prata (Minas Gerais). É importante ressaltar que, em função da idade do povoamento, trabalhou-se essencialmente com o lenho juvenil. A partir dessas toras de *Pinus*, foram retirados e lixados os corpos-de-prova de dimensões 2x2x2 cm, perfeitamente orientados em relação aos eixos do tronco da árvore. Os corpos-de-prova numerados totalizaram 40 amostras e cada tratamento foi realizado com 8 repetições, portanto, 5 tratamentos (referência, 120°C, 140°C, 160°C, 180°C). Essas amostras foram termorretificadas em uma autoclave (Figura 1), colocando-os em uma cesta metálica, acima de um fundo falso, de modo que não ficassem em contato direto com a água do fundo da autoclave.



Figura 1 – Autoclave do LPF/IBAMA utilizada nos experimentos de tratamento térmico.

Esses tratamentos foram realizados com os corpos-de-prova saturados em água, submetidos a aquecimento em meio oxidante, saturado de vapor de água, propiciando assim uma termo-hidrólise. Nos tratamentos de 140°C, 160°C e 180°C, foi programado um patamar na temperatura de 105°C, de forma a permitir o material ultrapassar de forma homogênea a transição viscoelástica da lignina. Os tratamentos foram efetuados conforme um programa de temperatura ilustrado na figura abaixo (Figura 2).



*Patamar final de 2 horas, correspondente as temperaturas de 120°C, 140°C, 160°C e 180°C

Figura 2 - Programa de temperatura aplicado nos tratamentos.

Após o término do tratamento de termorreificação, o resfriamento foi efetuado com a abertura da tampa da autoclave em temperatura próxima a 100°C. Após tratamento, as amostras foram pesadas (em balança digital Mettler PM6100, de precisão 0,01g) e então saturadas em água, a fim de proporcionar uma condição inicial homogênea, tomada como ponto de partida da secagem na sala de climatização. Nessa sala, as amostras permaneceram até atingirem o equilíbrio higroscópico com o meio, cuja temperatura média esteve em torno de 20°C e a umidade relativa do ar em torno de 65%. Após a climatização, as amostras foram armazenadas em uma cuba de acrílico hermeticamente vedada com silicone (Figura 3), de modo que a atmosfera dentro do aparato se mantivesse

constante e com umidade relativa do ar igual a 90%. A umidade dentro da cuba foi obtida e mantida constante por uma solução saturada de sulfato de zinco, sem que a mesma entrasse em contato com os corpos-de-prova. A temperatura da sala foi mantida a 19°C por um aparelho de ar condicionado. Sob essas condições, acompanhou-se a variação da massa das amostras em intervalos regulares até atingir a umidade de equilíbrio. Durante o condicionamento na cuba de atmosfera igual a 90%, o registro da variação da massa foi realizado em uma balança eletrônica de marca BEL, de precisão 0,001g.



Figura 3 - Cuba de acrílico, com umidade relativa de 90 %, contendo os corpos-de-prova acima de uma solução saturada de sulfato de zinco ao fundo.

As amostras, após estabilização da umidade na cuba, foram secas em estufa a $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ até massa constante.

O procedimento adotado para definir o teor de umidade de equilíbrio de cada corpo-de-prova foi de obter a média das quatro últimas medições de massa após estabilização, tanto na situação de 65% quanto 90% de umidade relativa do ar. Essa média foi adotada como a umidade de equilíbrio naquelas condições e considerada como peso úmido para cálculo do teor de umidade de equilíbrio da madeira de cada tratamento.

A partir do teor de umidade de equilíbrio das amostras de cada tratamento, foi efetuada a análise de variância e realização do teste de Tukey, para comparar o teor de umidade de equilíbrio dos tratamentos. Tal metodologia permitiu verificar a influência da retificação térmica sobre o teor de umidade de equilíbrio e, indiretamente, sobre a

higroscopicidade da madeira. O mesmo procedimento de análise dos teores de umidade de equilíbrio foi usado para a fase de condicionamento na sala de climatização, o que permitiu comparar o efeito do tratamento térmico em duas atmosferas distintas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foi possível confirmar o escurecimento das amostras devido ao tratamento térmico, fato que foi mais proeminente na temperatura de 180°C (Figura 4).

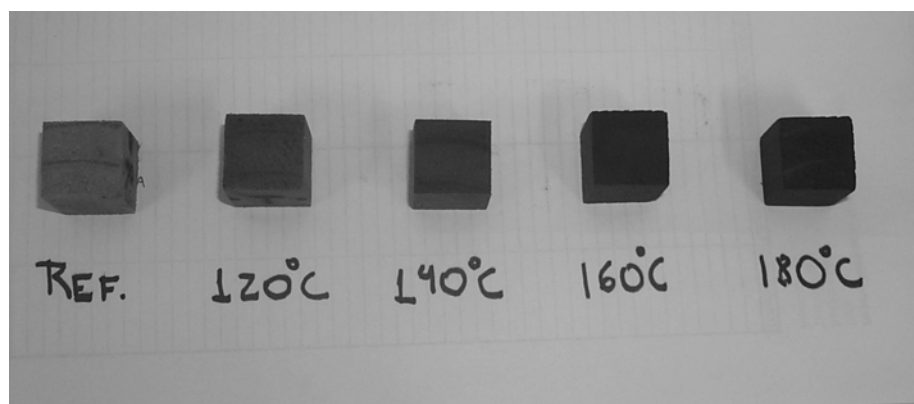


Figura 4 – Amostras após tratamento térmico.

Essa alteração na cor das madeiras tratadas termicamente é citada por QUIRINO (2003). Além da cor, observou-se que o tratamento a 180°C provocou carbonização parcial de uma amostra, provavelmente porque estava no fundo da cesta em contato com o metal. Foi constatada ainda a redução de massa das amostras nas quatro termorretificações, sendo que esse efeito foi mais acentuado para o tratamento a 180°C. A perda de massa pelas madeiras, tratadas termicamente, é relatada no trabalho de BRITO (1993) e por PENEDO (1982), quando esse último descreve as fases da pirólise. De acordo com o processo relatado por PENEDO (1982), a redução na massa pode ser atribuída à perda de água livre e higroscópica e à degradação parcial das hemiceluloses.

Na figura 5, na condição de 90% de umidade, é possível observar que as amostras tratadas atingiram um teor de equilíbrio menor do que as não tratadas, evidenciando a perda de higroscopicidade.

Contudo, essa diferença esperada entre os teores de umidade de equilíbrio dos tratamentos não foi tão evidente na condição de 65% de umidade, como mostrado na figura 6.

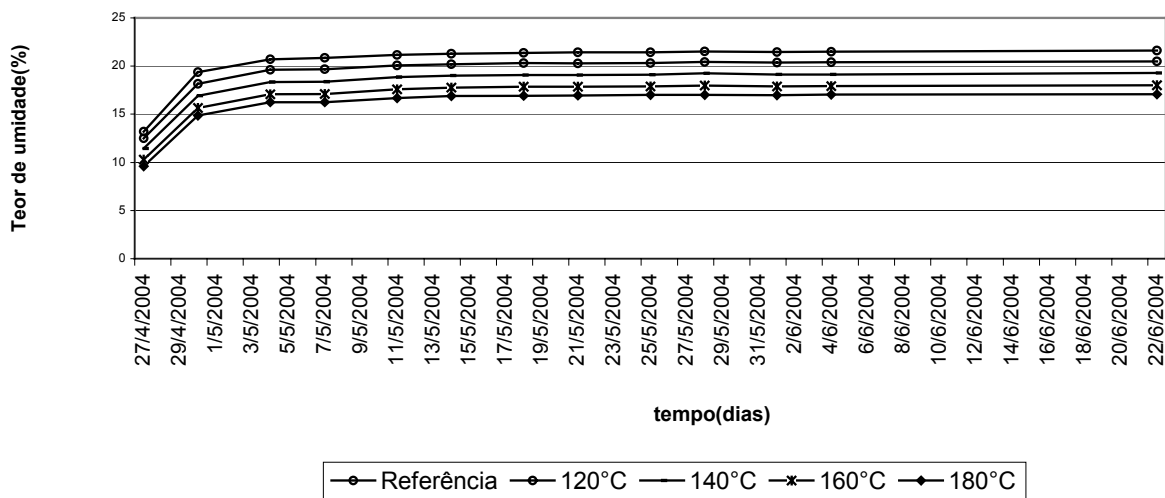


Figura 5 – Curva de equilíbrio do teor de umidade dos tratamentos submetidos à condição de 90% de umidade dentro da cuba de acrílico.

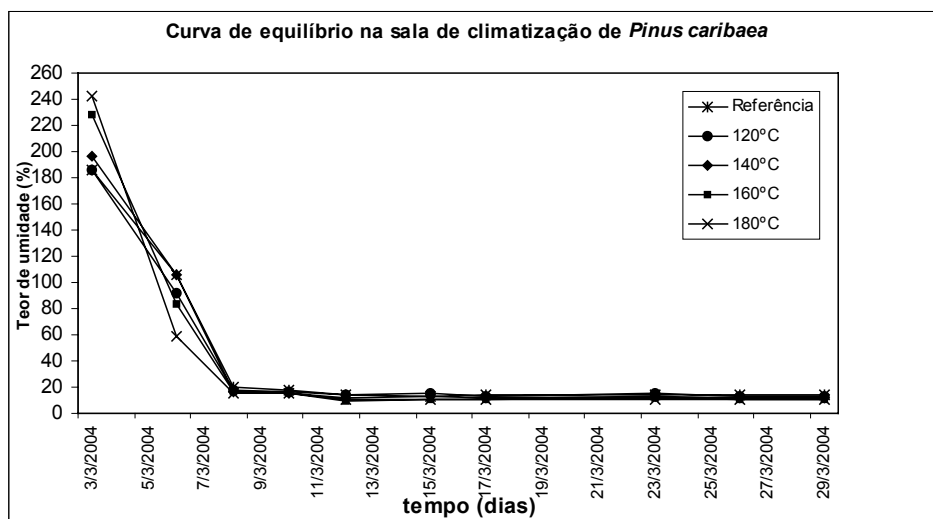


Figura 6 – Curva de equilíbrio do teor de umidade dos tratamentos submetidos à condição de 65% de umidade dentro da sala de climatização.

Apesar da figura 6 não demonstrar com clareza a redução do teor de umidade de equilíbrio, a análise estatística mostra uma diferença significativa entre os tratamentos em nível de 5% de probabilidade. Em ambas condições de umidade relativa do ar, de 65% e 90%, o teste F foi significativo, como mostrados nas quadros 1 e 2.

Quadro 1 – Análise de variância dos teores de umidade de equilíbrio referentes à condição de 65% de umidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	5963,33	1490,83	2014,63 *
Resíduo	35	25,84	0,74	
Total	39	5989,2		

*significativo a 5% de probabilidade

Quadro 2 – Análise de variância dos teores de umidade de equilíbrio referentes à condição de 90% de umidade.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamento	4	14.517,54	3629,38	80653 *
Resíduo	35	1,58	0,045	
Total	39	14.519,12		

*significativo a 5% de probabilidade

Ainda analisando a figura 6, foi possível observar que as madeiras tratadas apresentaram maiores teores de umidade de saturação do que a referência. Tal constatação pode ser explicada pelo efeito do tratamento térmico ter ocasionado a degradação de parte de seus constituintes, tornando-a mais porosa e, portanto, proporcionando maior absorção de água livre. Apesar disso, a higroscopicidade da madeira foi reduzida, como é evidenciado pelas médias dos teores de umidade de equilíbrio na sala de climatização (Quadro 3).

Se na figura 6 não há distinção clara entre o teor de umidade de equilíbrio dos tratamentos, no quadro 3 essa diferença é notada e quantificada estatisticamente. Assim, observando-se o equilíbrio de umidade das amostras na sala de climatização, pode-se notar que: ao nível de 5% de significância não existe diferença entre a referência e 120°C.

O mesmo acontece entre 120°C e 140°C, entre 140°C e 160°C e entre 160°C e 180°C. Apesar do teste de Tukey não indicar diferença significativa entre alguns tratamentos, é possível notar redução no teor de umidade de equilíbrio à medida que a temperatura do tratamento é elevada (Quadro 3).

Quadro 3– Comparação entre médias dos teores de umidade de equilíbrio obtidos na condição de 65% de umidade por meio do teste de Tukey (5% de probabilidade).

Tratamento	Média do teor de umidade de equilíbrio	
Referência	13,96%	a
120°C	13,72%	a b
140°C	12,23%	b c
160°C	11,00%	c d
180°C	10,50%	d

A igualdade estatística das médias, na condição de 65% de umidade, pode ser explicada pelo uso de balança de menor precisão para acompanhar a variação de massa dos corpos-de-prova. Além do fato de que a sala de climatização apresenta variações em suas condições de temperatura e umidade relativa do ar, que podem ter influenciado as variações do equilíbrio da madeira.

Para a umidade de 90%, o teste de Tukey confirmou o observado na figura 5, indicando que os teores de umidade de equilíbrio dos tratamentos diferiram estatisticamente em nível de 5% de probabilidade (Quadro 4).

A redução da higroscopicidade está de acordo com diversas citações na literatura, como HENRIQUEZ (1985), SEVERO *et al.* (2001), COSTA *et al.* (2001) e QUIRINO & VALE (2002). Essa redução é observada pelo decréscimo do teor de umidade de equilíbrio das amostras retificadas em relação à referência.

O tratamento em meio não oxidante, previsto inicialmente, não foi realizado em função da limitação de tempo para o projeto de iniciação científica, devendo ser efetuado em uma nova etapa da pesquisa no LPF/IBAMA.

Quadro 4 – Comparação entre médias dos teores de umidade de equilíbrio obtidos na condição de 90% de umidade por meio do teste de Tukey (5% de probabilidade).

Tratamento	Média do teor de umidade de equilíbrio	
Referência	21,53%	a
120°C	20,42%	b
140°C	19,20%	c
160°C	17,95%	d
180°C	17,02%	e

CONCLUSÃO

A retificação térmica, como descrita nessa metodologia, é um tratamento eficiente para promover a redução na higroscopicidade da madeira e, conseqüentemente, pode tornar-se uma alternativa promissora para promover maior estabilidade dimensional da madeira.

Conforme mencionado na literatura, o teor de umidade de equilíbrio das amostras tratadas termicamente foi inferior ao valor encontrado para a referência. Sob esse aspecto, o tratamento térmico pode ser utilizado para produzir produtos florestais de maior qualidade e valor no mercado, configurando-se como um possível incremento no beneficiamento de madeiras. Além de potencializar o uso de madeiras marginalizadas, poupando a utilização de madeiras intensamente exploradas.

A realização deste trabalho permitiu analisar a higroscopicidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis*, porém seria interessante efetuar medições dos corpos-de-prova para quantificar a variação dimensional nos diferentes tratamentos. Ademais, sugere-se a realização do tratamento térmico em meio não-oxidante e efetuar comparações com a termo-hidrólise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BALLARIN, A. W. & PALMA, H. A. L. Propriedades de resistência e rigidez da madeira juvenil e adulta de *Pinus taeda* L. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.27, n.3, p.371-380, 2003.
- BARILLARI, C. T.; JANKOWSKY, I. P.; FREITAS, V. de P. Durabilidade da madeira do gênero *Pinus* spp. , tratada com CCA tipo A e CCB após 21 anos de exposição em campo de apodrecimento. Floresta, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná-FUPEF, Edição Especial, p.87-91, set. 2002, (Nota Técnica).
- BRITO, J. O. Estudo preliminar de retificação térmica da madeira de eucalipto. In: Congresso Florestal Brasileiro, 7, Curitiba: SBS/SBEF, 1993. Anais. p.774.
- CORRÊA, P. C.; VITAL, B. R.; MARINS, J. H. Higroscopicidade e entalpia de vaporização para madeira de *Eucalyptus grandis*. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.22, n.4, p.555-561, 1998.
- COSTA, A. F. da; VALE, A. T. do ; GONÇALVEZ, J. C. Eficiência de um resíduo de origem petrolífera sobre a estabilidade dimensional da madeira de *Pinus* sp. (pinus) e *Mimosa scabrella* Bentham (bracatinga). Ciência Florestal, Santa Maria-RS, v.11, n.2, p.59-70, 2001.
- GALVÃO, A. P. M. & JANKOWSKY, I. Secagem racional da madeira. São Paulo: Nobel, 1985. 112p.
- MARABOTO, M. T.; CUNHA, M. do P. S. C. ; PONTES, C. L. F.; CRUZ, I. de A.; CUNHA NETO, Z. B. da. Poder calorífico e pirólise de dez espécies florestais da Amazônia Brasileira-Peruana. In: III Encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeiras, São Carlos-SP, 1989. Anais, volume 3.
- MENDES, A. de S.; MARTINS, V. A.; MARQUES, M. H. B. Programas de secagem para madeiras brasileiras. Brasília: IBAMA, 1998. 114p.
- MOURA, L. F. de & BRITO, J. O. Influência da desrama artificial sobre a densidade básica, a composição química e as características dos traqueídeos da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* Barr. Et. Golf. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.25, n.3, p.369-374, 2001.
- MOURA, V. P. G. & DVORAK, W. S. Provenance and family of *Pinus caribaea* var. *Hondurensis* from Guatemala and Honduras, grown in Brazil, Columbia and Venezuela. Pesquisa Agropecuária Brasileira, Brasília, v.36, n.2, p.225-234, fev.2001.
- PENEDO, W. R. COMP. Produção e utilização de carvão vegetal. Belo Horizonte-MG: Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC, 1982. 393p. (Série de publicações Técnicas, 8).
- PINCELLI, A. L. P. S. M.; BRITO, J. O.; CORRENTE, J. E. Avaliação da termoretificação sobre a colagem da madeira de *Eucalyptus saligna* e *Pinus caribaea* var. *hondurensis*. Scientia Forestalis, IPEF-Instituto de Pesquisas Florestais, n.61, p.122-132, jun. 2002.
- QUIRINO, W. F. Preservação de estacas e mourões de cerca por retificação térmica e impregnação de pirolenhosos e alcatrões. Relatório final de projeto de pesquisa, LPF/IBAMA-PNUD/FAO- UnB, Brasília, 1997. 25p.

- QUIRINO, W. F. & VALE, A. T. Retificação térmica de *Eucalyptus grandis*. Floresta, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná-FUPEF, Edição Especial, p.60-66, set. 2002.
- QUIRINO, W. F. Utilização energética de resíduos vegetais. Brasília: IBAMA/LPF, 2003.
- REZENDE, M. A. de. Retratibilidade da madeira de *Pinus caribaea* var. *hondurensis* e *Eucalyptus saligna* e suas relações com a umidade e a densidade. Scientia Forestalis, IPEF-Instituto de Pesquisas Florestais, n.64, p.120-127, dez. 2003.
- REZENDE, M. A. de.;SAGLIETTI, J. R. C.; GUERRINI, I. A. Estudo das interrelações entre massa específica, retratibilidade e umidade da madeira do *Pinus caribaea* var. *hondurensis* aos 8 anos de idade. IPEF, Piracicaba, n.48/49, p.133-141, jun./dez. 1995.
- SKAAR, C. Water in wood. Syracuse (EUA): Syracuse University Press, 1972, 218p.
- STAMM, A. J. Wood and cellulose science. New York: Ronald Press, 1964. 549p.
- SEVERO, E. T. D.; TOMASELLI, I.; BONDUELI, G. M.; REZENDE, M. A. de. Efeito da vaporização na umidade de equilíbrio e sua implicação nas propriedades mecânicas da madeira de *Eucalyptus dunnii* Maid. Floresta, Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná-FUPEF, v.31, n.1 e 2, p.114-118, jun-dez. 2001.