

IPEF n.27, p.31-40, ago.1984

Estudo das variáveis que afetam a polimerização de metacrilato de metila em madeira de *Schizolobium parahyba* (Vell.) Blake (Guapuruvu)* através de radiação gama

MARIA GUIOMAR CARNEIRO

Depto. de Física - UNIMEP - C.P. 68 - Piracicaba - SP

EPAMINONDAS S. DE B. FERRAZ

Depto. de Física - ESALQ/USP - C.P. 9 - Piracicaba - SP

MARIO TOMAZELLO FILHO

Depto. de Silvicultura - ESALQ/USP - C.P. 9 - Piracicaba - SP

RESUMO - Amostras de madeira de guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) foram impregnadas com o monômetro metacrilato de metila e polimerizadas através da radiação gama de uma fonte de ^{60}Co , a várias taxas de exposição e exposição total. A polimerização total do metacrilato de metila foi obtida usando a taxa de dose de 0,8 MR/h e dose total de 2,0 MR, suficientemente baixa para não causar degradação da celulose. No processo de impregnação vácuo-pressão atmosférica as densidades tornaram-se maiores 4,4 vezes (alburno) e 2,2 vezes (cerne), e com pressão adicional à atmosférica, 2,8 vezes (cerne), em relação às testemunhas. O armazenamento das amostras de madeira impregnadas com o monômetro, mesmo envolvidas em papel alumínio e filme de polietileno, apresentaram perdas do monômero, recomendando-se irradiar as amostras imediatamente após a impregnação. A quantidade de água absorvida foi 3 vezes maior para as amostras não tratadas em relação às tratadas com metacrilato de metila.

ABSTRACT - Guapuruvu (*Schizolobium parahyba*) wood samples were impregnated with the methyl metacrylate monomer and polymerized by the use of gama rays from a ^{60}Co source at different dose exposure and total dose. The total polymerization of the methyl metacrylate was obtained by using the exposure rate of 0.8 MR/h and total exposure of 2.0 MR, low enough to cause no degradation of cellulose. In the impregnation process by vacuum - atmospheric pressure the densities became 4.4 times higher (sapwood) and 2.2 times higher (heartwood) in relation to the control; with an additional pressure the increase was 2.8 times (heartwood) in relation to the control. The storage of the impregnated wood samples showed losses of the monomer, even when wrapped with aluminum foil and polyethylene film. It is recommended that the wood samples be irradiated soon after impregnation. The amount of absorbed water 3 times higher for non treated samples in relation to the treated ones. The density values, obtained through attenuation of gama radiation, were constant along the wood samples, indicating that guapuruvu can be used for homogeneous impregnation and polymerization with methyl metacrylate.

* Extraído da dissertação, apresentada pelo primeiro autor, para a obtenção do título de Mestre junto à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz".

INTRODUÇÃO

As pesquisas visando a melhoria das propriedades da madeira através da impregnação com resinas foram iniciadas a partir de 1909 por Baekeland (BRYANT, 1966). A evolução nessa área foi grande e contribuições significativas foram proporcionadas em 1958 por Kenega, nos Estados Unidos e por Karpov na União Soviética. Esses pesquisadores desenvolveram, simultânea e independentemente, métodos de melhoria das propriedades físicas da madeira pela impregnação de monômeros da série vinílica e polimerização dos mesmos através de radiação gama (MIETTINEN & AUTIO, 1968). Após esses trabalhos iniciais, grupos de pesquisadores de vários países mostraram-se interessados nesta área, destacando-se os da Finlândia, Áustria, Hungria, Dinamarca, Alemanha e Japão (FIGUEIREDO, 1972).

Para as condições brasileiras, as perspectivas do emprego de polimerização de madeira são amplas, pela disponibilidade de madeiras de baixa densidade, produzidas por espécies de rápido crescimento. No momento, no Brasil, alguns impedimentos de ordem econômica restringem parcialmente o uso de madeira polimerizada, considerando-se que os monômeros utilizados na impregnação são derivados de petróleo (LEPAGE, 1979; CARNEIRO, 1982).

Entretanto, nos países desenvolvidos, a madeira polimerizada de várias espécies florestais tem sido utilizada em inúmeras aplicações variando desde tacos de bilhar e hóquei, cabos e instrumentos de cutelaria, coronha de armas, lançadeiras para indústrias têxteis, utensílios de cozinha, restauração de obras de arte, instrumentos musicais, e até pisos de aeroportos, museus e escolas.

O presente trabalho tem como objetivo pesquisar a melhoria da qualidade da madeira de guapuruvu (*Schizolobium parahyba*), através da polimerização: (i) para várias taxas de dose, a dose total de radiação gama necessária para a polimerização completa do monômero; (ii) o efeito da utilização do alburno e cerne e (iii) a influência do armazenamento das amostras impregnadas e envolvidas em papel de alumínio e filme de polietileno, sob condições de baixa temperatura, na porcentagem de polimerização.

MATERIAL E MÉTODOS

Preparação das amostras

As amostras de madeira de guapuruvu foram obtidas através do desdobramento de toras dessa espécie, ao longo da grã e selecionadas de acordo com a uniformidade, evitando-se amostras de madeira com defeitos, tais como rachaduras, incidência de fungos, nós. As amostras provenientes do cerne e do alburno foram utilizadas separadamente nos ensaios de polimerização. O guapuruvu foi escolhido por se tratar de uma madeira de baixa densidade (0,2 a 0,3 g/cm³) e boa permeabilidade. Todas as amostras foram cortadas com dimensões de 2 x 2 x 10 cm, com o maior comprimento na direção longitudinal. As amostras foram inicialmente secas em estufa a 105°C, até peso constante e imediatamente antes de serem colocadas no sistema de impregnação tiveram suas massas determinadas.

Monômero

O monômero empregado foi metracrilado de metila comercial.

Impregnação

Depois de secas, as amostras foram colocadas na câmara de impregnação do sistema de impregnação (CARNEIRO, 1982). As amostras ficaram sob vácuo de 650 mm Hg durante 17 horas, no sistema de impregnação para a retirada do ar da madeira. Após esse período a bomba de vácuo foi desligada, sendo o monômero adicionado através do funil sem admitir-se a entrada de ar, em uma quantidade suficiente para encher o cilindro de impregnação, e ainda restar monômero no funil. O período de impregnação do monômero foi de 6 horas, para que todas as amostras ficassem totalmente submersas. O experimento constou de 3 ensaios, sendo que nos de n^{os} 1 e 2 a impregnação foi feita sob pressão atmosférica e no de n^o 3, a pressão foi aumentada de 5500 mm Hg, injetando-se ar no cilindro. As amostras de madeira impregnadas foram envolvidas em papel alumínio e novamente numeradas.

As amostras do ensaio 1 foram irradiadas logo após a impregnação, e as dos ensaios 2 e 3 foram armazenadas para posterior irradiação. As amostras desses ensaios foram armazenadas em geladeira, envolvidas em filme de polietileno, para evitar a absorção de água e prevenir a perda do monômero.

Cura por irradiação

A polimerização dos compostos madeira-monômero foi iniciada com raios gama de um irradiador Gammabeam 650, tipo IR 31, fabricado pela "Atomic Energy of Canada Limited", equipado com uma fonte de ⁶⁰Co com atividade média, no período do experimento, de 17200 curies. Segundo ESCOBEDO et alii (1980), o irradiador é constituído de 12 tubos metálicos, contendo 36 cápsulas de ⁶⁰Co de igual atividade. Através de ar comprimido, as 3 cápsulas de cada tubo são movidas no seu interior da posição estoque para a altura de 32 cm da plataforma de irradiação onde as amostras foram irradiadas no interior do conjunto formado pelos tubos metálicos.

As amostras de madeira impregnadas com o monômero foram dispostas horizontalmente umas sobre as outras, formando um cubo de base (8 x 10 cm) e altura variável. As diferentes taxas de exposição foram retiradas da câmara de irradiação, à medida que tinham completado a dose total de exposição, previamente determinada. Desta maneira, para uma mesma taxa, variando-se o tempo de exposição, foram conseguidas várias doses totais. As taxas de doses e os intervalos de variações das doses totais estão apresentadas na Tabela 1.

TABELA 1. Taxas de dose e doses totais utilizadas nos ensaios de polimerização.

ENSAIO	TAXAS DE DOSE (MR/h)	DOSES TOTAIS (MR)
1	0,20	0 - 1,6
	0,84	0 - 6,8
	1,61	0 - 10,0
2	0,20	0 - 2,0
	0,40	0 - 2,4
	0,80	0 - 2,4
3	0,80	0 - 2,8
	1,50	0 - 2,8

As amostras depois de irradiadas e desenroladas do papel alumínio, foram pesadas e colocadas em estufa a vácuo, a uma temperatura em torno de 50°C, para completar a polimerização. Em seguida, as amostras foram pesadas periodicamente até atingirem peso constante.

Porcentagem de polimerização

A polimerização do monômero (%) foi obtida pela equação (1), utilizada por DAVIES et alii (1969):

$$\text{Polimerização (\%)} = \frac{P_2 - P_0}{P_1 - P_0} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

Onde: P₀ = peso original da madeira (peso seco);

P₁ = peso da madeira + polímero + monômero (após a irradiação);

P₂ = peso da madeira + polímero (após irradiação e secagem).

Determinação da densidade por varredura

Em todos os ensaios foram feitas determinações de densidade ao longo das amostras, pelo método de atenuação da radiação gama. Um feixe colimado dessa radiação, proveniente de uma fonte de ²⁴¹Am (60 Rev) é atenuado pela amostra de madeira e, posteriormente, detectado por um cristal cintilador de NaI (T1) para ser contado no espectrofotômetro monocanal (FERRAZ, 1976).

Testes de absorção de água

Foram conduzidos testes de absorção de água com amostras tratadas e não tratadas. O material do ensaio ficou totalmente submerso em água destilada, em condições normais de pressão e temperatura, durante 86 dias, sendo pesadas periodicamente. A absorção de água (%) foi obtida pela equação (2), utilizada por RAAF et alii (1965):

$$\text{Absorção de água (\%)} = \frac{P_1 - P_0}{P_0} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

Onde: P⁰ = peso da madeira + polímero (após irradiação e secagem);
P¹ = peso da madeira + polímero + água absorvida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ensaio 1

Os resultados referentes à polimerização de metacrilato de metila em madeira de guapuruvu, em função da dose de radiação, a diferentes taxas de dose, são apresentados na Figura 1. Verifica-se que, à medida que a taxa de dose decresce, aumenta a conversão do monômero por unidade de dose: na dose de 1,0 MR, a conversão do monômero para as taxas de dose de 1,61; 0,84 e 0,20 são 75, 83 e 88%, respectivamente. Não foi obtida a polimerização completa na taxa de dose de 0,20 MR/h, pois a dose total máxima de 1,6 MR foi insuficiente.

O ajustamento estatístico mais significativo para descrever a polimerização, em função da dose total de radiação, pode ser expresso pela equação:

$$y = \alpha e^{\beta \frac{1}{x}} \dots\dots\dots(3)$$

Sendo que: y = % de polimerização;
α, β = constantes;
x = dose total de irradiação (MR).

como:

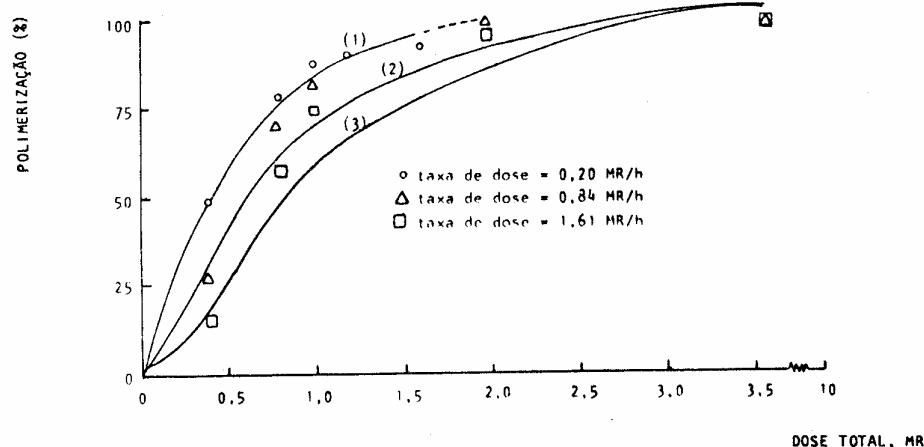
$$\ln y = \ln \alpha + \beta \frac{1}{x}$$

as constantes α e β são obtidas a partir da regressão linear simples entre $\ln y$ e $\frac{1}{x}$.

Na figura 1 são apresentadas as curvas estimadas, obtidas a partir da equação (3), para as três taxas de dose utilizadas no ensaio. Nota-se um ajuste satisfatório para a taxa de dose de 0,2 MR/h, o mesmo acontecendo para todas as curvas. Para a taxa de dose de 0,2 MR. No entanto, para essa taxa e dose seriam necessárias 10 horas de irradiação, com limitações técnicas pelo elevado período de irradiação. Sabe-se que no processo comercial de polimerização por radiação gama de monômero vinílicos em madeira é conveniente utilizar períodos curtos de irradiação, com adequadas taxas de dose. Nesse ensaio, foram obtidos menores intervalos de tempo, aumentando-se a taxa de dose de 0,20 para 0,84 e 1,61 MR/h. Os períodos necessários para uma máxima polimerização e mínima dose total, a

várias taxas de dose, são expressos na Tabela 2. Verifica-se, portanto, que quanto maior é a taxa de dose, maior é a dose necessária para se obter polimerizações completas. Resultados semelhantes foram encontrados por SHIRAYEVA et alii (1971) e por COLLINS et alii (1967).

FIGURA 1. Curva estimada da polimerização do metacrilato de metila, em função da dose de radiação. ENSAIO 1.



$$(1) \quad Y = 120,96 \cdot e^{\frac{-0,363}{x}} ; \quad r^2 = 0,993$$

$$(2) \quad Y = 120,90 \cdot e^{\frac{-0,538}{x}} ; \quad r^2 = 0,966$$

$$(3) \quad Y = 127,19 \cdot e^{\frac{-0,779}{x}} ; \quad r^2 = 0,967$$

TABELA 2. Períodos de tempo para polimerização do metacrilato de metila.

TOTAL DE DOSE (MR/h)	DOSE TOTAL (MR)	TEMPO DE IRRADIAÇÃO (h)	POLIMERIZAÇÃO (%)
0,20	1,6	8,0	94
0,84	2,0	2,4	100
1,61	3,6	2,2	100

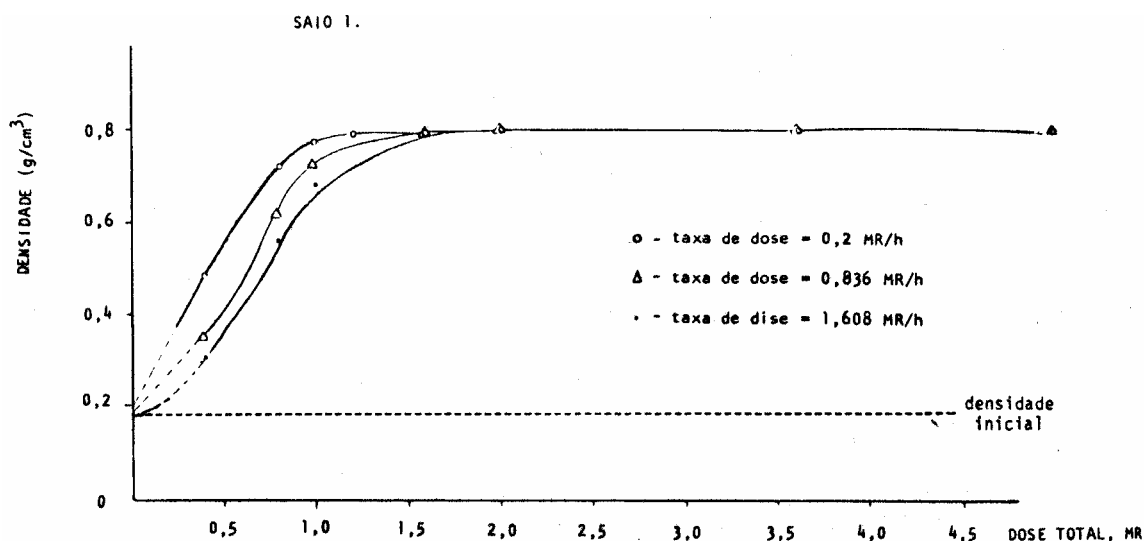
Por outro lado, doses totais maiores que 2 MR (para a taxa de 0,84 MR/h) e 3,6 MR (para a taxa de 1,61 MR/h) também resultaram em polimerizações completas, apresentando, entretanto, o inconveniente de poderem causar a degradação das cadeias de celulose, conforme discutido por MATER (1957), Leavett (1960, 1961), citado por SIAU et alii (1965a), ARTHUR e BLOUIN (1962) e HUANG et alii (1965). Sabe-se que a degradação da madeira esta diretamente relacionada com a dose total de radiação (SIAU et alii, 1965 b). Altas doses de radiação podem, também, induzir a formação de "crosslinking", detectado pelo decréscimo na solubilidade do polímero formado a determinados solventes orgânicos (KENEGA et alii, 1962).

Amostras com máxima retenção de polímero ficaram com uma densidade 4,4 vezes maior em relação à densidade inicial de madeira pura, indicando com isso: (i) uma grande penetração de metacrilato de metila durante o processo de impregnação, e (ii) a eficiência

do método de radiação gama. Entretanto, além da quantidade de polímero formado no interior da madeira, é desejável que ocorra sua reação com os constituintes da parede celular. A análise desses processos químicos, resultantes da polimerização do metacrilato de metila, é importante para a orientação de futuras pesquisas. Sabe-se que, a partir de informações obtidas para madeiras de *Betula* sp. e *Populus tremuloides*, o metacrilato de metila tem pouca penetração nas paredes das células, formando, através da radiação um polímero (homopolímero) solúvel em solventes orgânicos (LANGWING et alii, 1969; SHIRAYEVA et alii, 1971). A penetração do metacrilato de metila e de outros monômeros vinílicos pode ser aumentada com a adição de agentes químicos, tais como o álcool etílico - 60/40 - (SHIRAYEVA et alii, 1971).

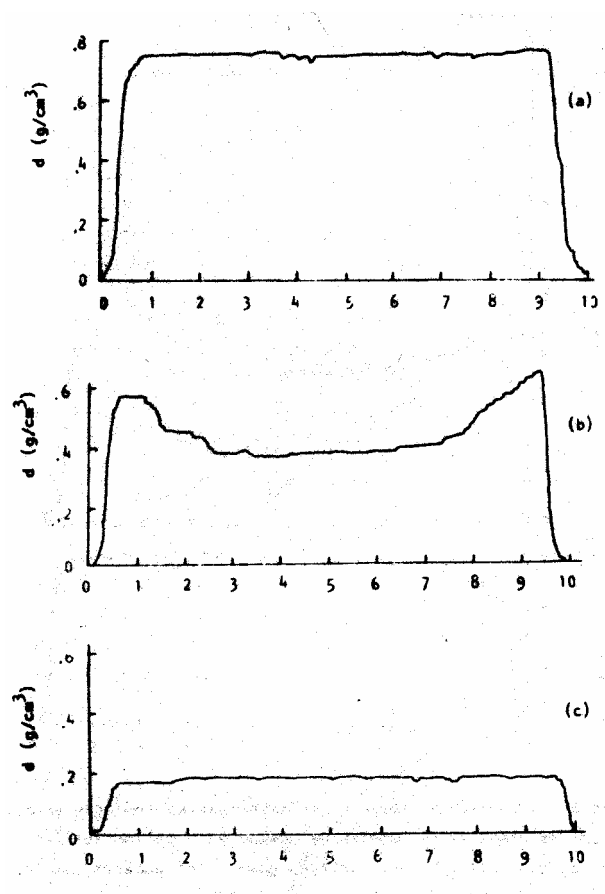
A Figura 2 traz as variações das densidades do composto madeira de guapuruvu - polimetacrilato de metila, polimerizado a diferentes taxas de dose em função de doses totais crescentes de radiação gama de ^{60}Co . Há uma relação diretamente proporcional entre a densidade final do composto e a quantidade de polímero retido pela madeira.

FIGURA 2. Densidade de composto madeira de guapuruvu - polimetacrilato de metila, a diferentes taxas de dose de radiação gama de ^{60}Co . ENSAIO 1.



A Figura 3 representa os valores de densidade obtidos por atenuação de radiação gama, ao longo das seções medianas das amostras de guapuruvu - polimetacrilato de metila. A amostra irradiada com 1,6 MR, à taxa de 0,2 MR/h (Figura 3a) apresentou impregnação e polimerização homogênea do monômero, detectada pela constância dos valores de densidade. Essa densidade uniforme foi verificada em cerca de 68% das amostras tratadas com valores variando de 0,18 (para a testemunha) a 0,80 g/cm³ (Figura 3 a, c), de acordo com a dose de irradiação recebida. Entretanto, das amostras polimerizadas, 32% apresentaram densidade menores no centro, conforme a amostra irradiada à taxa de 0,84 MR/h e dose de 3,6 MR (Figura 3 b), indicando com isso problemas quanto à impregnação e/ou polimerização do metacrilato de metila.

Figura 3.



Valores de densidade, obtidos por atenuação de radiação gama, ao longo das amostras de madeira de guapuruvu - polimetacrilato de metila, polimerizadas por radiação gama. ENSAIO 1. (a) amostra com impregnação e polimerização homogênea; (b) amostra com impregnação e polimerização heterogênea; (c) amostra testemunha, sem tratamento.

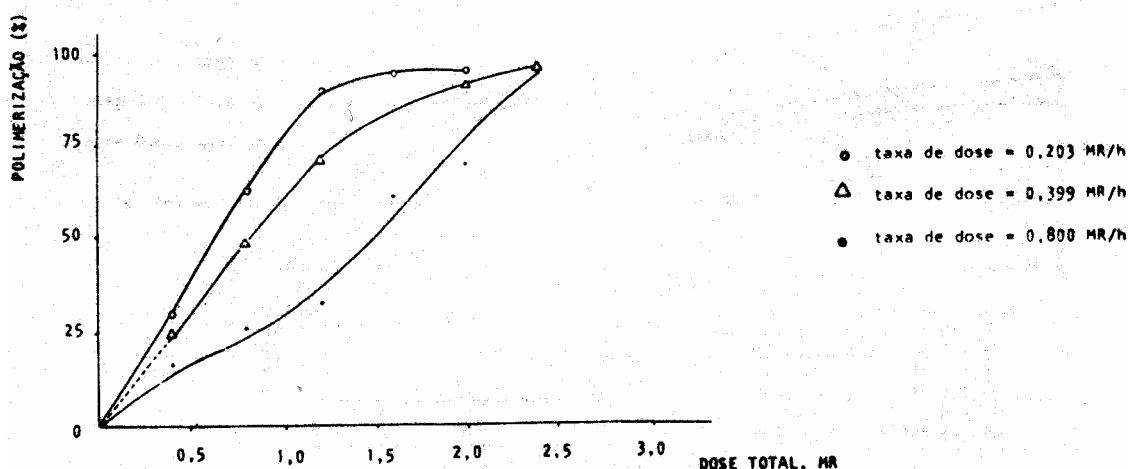
Ensaio 2

A polimerização de metacrilato de metila a diferentes taxas de dose em função de doses totais crescentes de radiação gama de ⁶⁰Co é apresentada na Figura 4. De acordo com os resultados obtidos no Ensaio 1, onde, para a completa polimerização não houve necessidade de doses totais elevadas, foi utilizada a dose total máxima de 2,4 MR e taxas de dose de 0,2; 0,4 e 0,8 MR/h. Pela análise comparativa das Figuras 1 e 4, verifica-se que para taxas de doses menores, maior é a polimerização por unidade de dose total. Para esse ensaio, ao contrário do anterior, não se conseguiram valores de 100% de polimerização.

A densidade final das amostras do composto madeira-plástico no Ensaio 2 (Figura 5) foi 2,2 vezes maior do que a da madeira sem tratamento, enquanto no Ensaio a densidade final foi 4,4 vezes maior (Figura 2). Essas diferenças na densidade final da madeira polimerizada do Ensaio 2 foram resultantes da menor absorção do monômero pelas amostras obtidas do cerne, em relação ao Ensaio 1, cujas amostras foram obtidas da região

do alburno. A maior retenção do monômero da madeira do alburno, em relação do cerne, foi verificada para a madeira de oito espécies florestais por YOUNG & MEYER (1968). Para *Pinus resinosa*, a absorção do monômero foi 6-7 vezes maior no alburno em relação do cerne. Essas diferenças são devido aos depósitos orgânicos presentes no cerne, que obstruindo as células da madeira impedem a penetração do monômero em seu interior. Além da obstrução mecânica das células, esses extrativos são inibidores da polimerização do monômero, por serem resistentes à radiação (BURILLO et alii, 1975). Pode-se, também, discutir o efeito do armazenamento inicial das amostras de guapuruvu impregnadas, em geladeira, de modo a mantê-las em temperatura inferior a do ambiente, no início do processo de radiação de acordo com os resultados apresentados para *Betula* sp. por DAVIES et alii (1969).

FIGURA 4. Polimerização de metacrilato de metila, a diferentes taxas de dose de radiação gama de ^{60}Co . ENSAIO 2.



O gráfico da Figura 6 a representa a densidade ao longo de uma amostra irradiada com 2,4 MR, à taxa de dose de 0,8 MR/h, indicando um composto madeira-plástico homogêneo. Cerca de 65% das amostras tratadas apresentaram essa característica.

Densidades menores no centro e nas extremidades das amostras tratadas, conforme a Figura 6 b, c - amostras irradiadas com taxa de dose de 0,4 MR/h e doses totais de 1,2 e 0,8 MR, foram verificadas em 26% e 9% das amostras irradiadas, respectivamente. As perdas de monômero na extremidade devem ter ocorrido durante o período de armazenamento das amostras em geladeira.

Os resultados, referentes à absorção de água pelas amostras de madeira de guapuruvu não polimerizadas e polimerizadas as diferentes doses e taxas de dose em função do tempo, são expressos pela Figura 7. Verifica-se que, quanto maior a retenção do polímero pela amostra, menor foi a absorção de água, após um período de 86 dias. As amostras irradiadas com taxa de 0,2 MR/h e dose total de 1,6 MR apresentaram uma menor absorção de água, em torno de 97%, enquanto que, para as testemunhas, a absorção foi de 272%. Esses resultados foram verificados para os tratamentos com taxas de 0,4 e 0,8 MR/h e doses totais de 2,4 MR. Esse efeito foi observado por RAFF et alii (1965), o qual obteve valores de 60% de absorção de água para amostras de *Pinus strobus* com estireno-divinil-

benzeno, e acima de 200% para amostras não polimerizadas. Entretanto, conforme afirmam os autores, a menor absorção de água pelas amostras pode ser devido somente ao preenchimento das células da madeira, não implicando, necessariamente, em uma maior estabilidade dimensional.

FIGURA 5. Densidade do composto de guapuruvu-polimetacrilato de metila, a diferentes taxas de dose de radiação gama de ^{60}Co . ENSAIO 2.

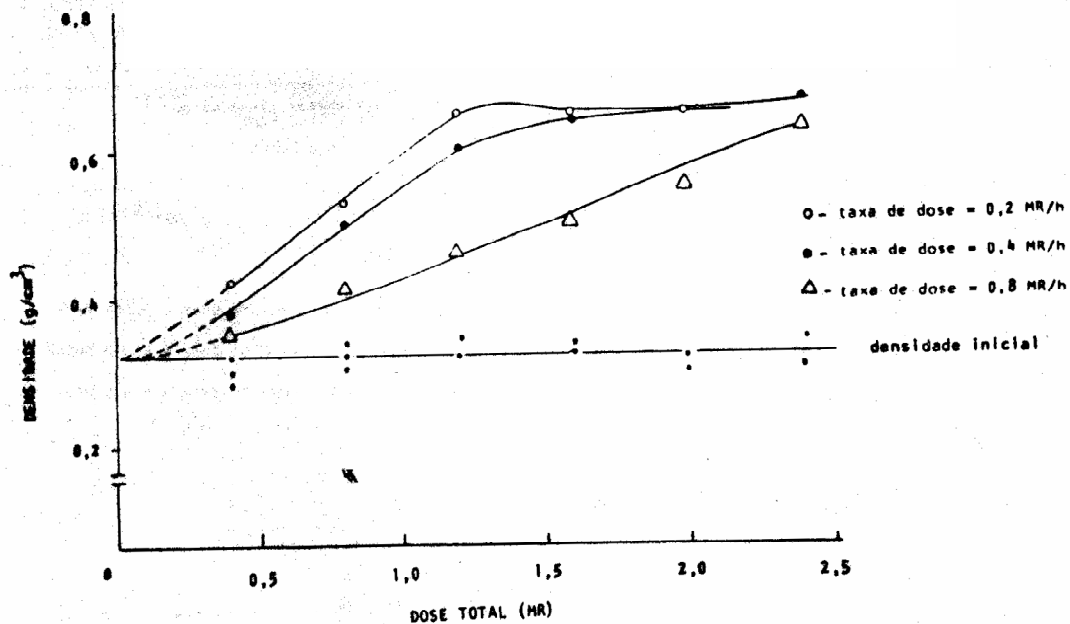
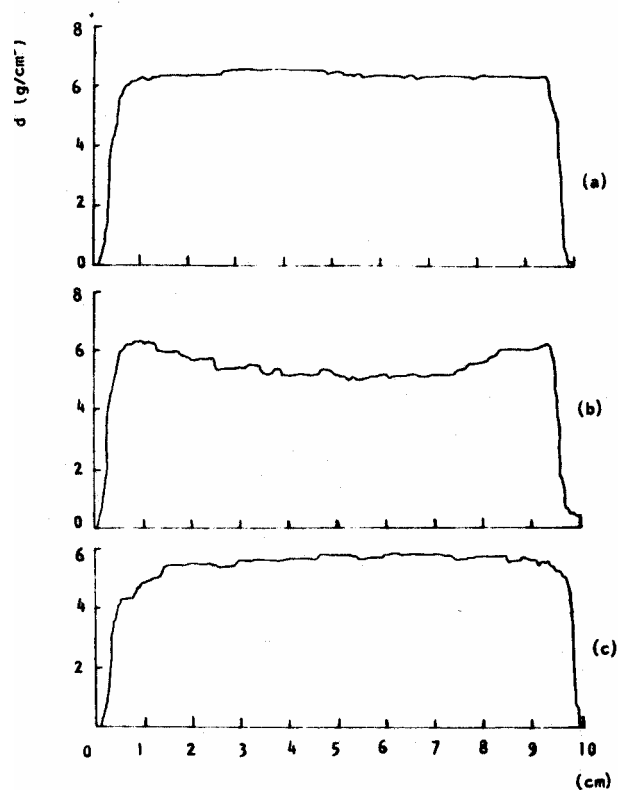
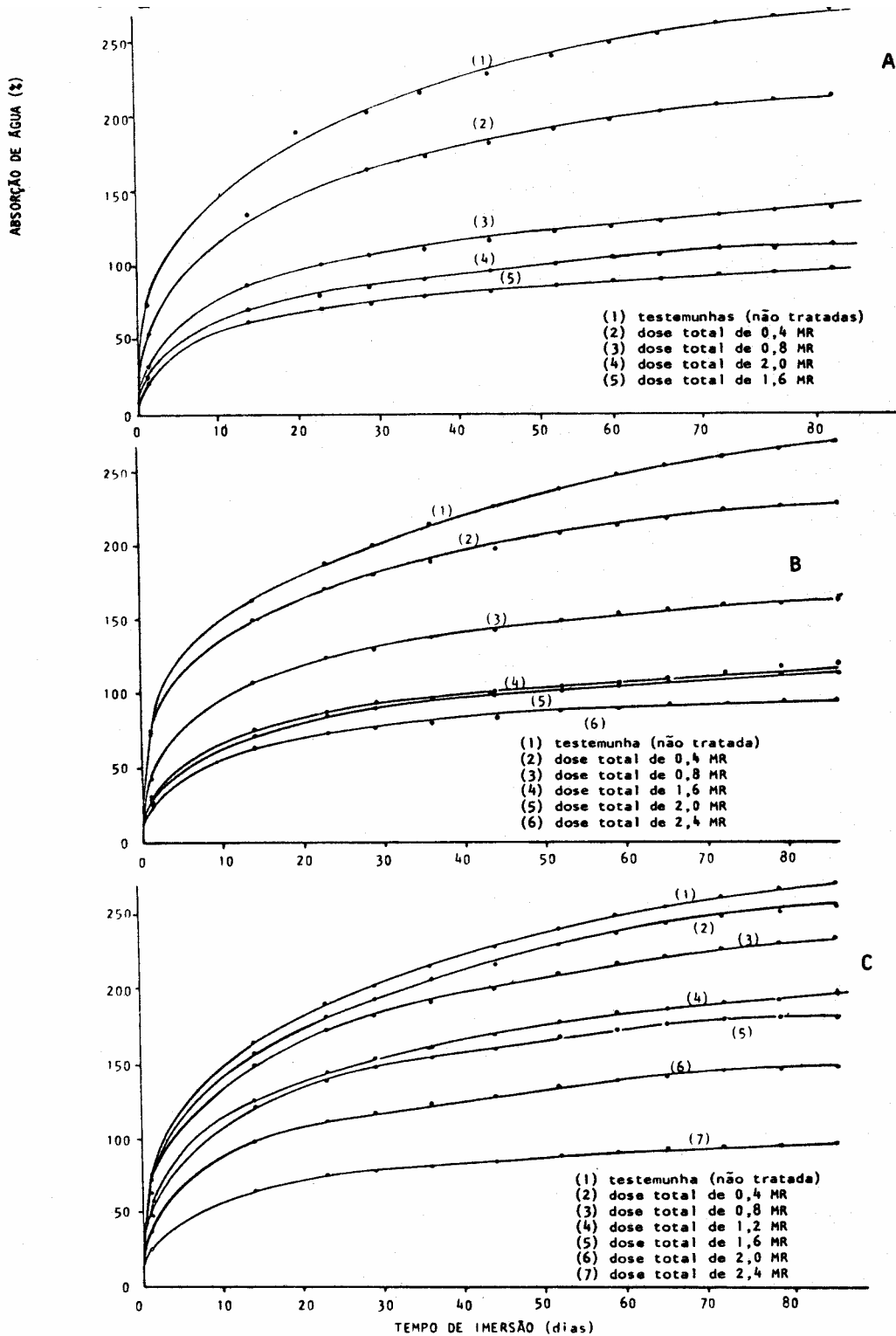


FIGURA 6.



Valores de densidade, obtidos por atenuação de radiação gama, ao longo das amostras de madeira de guapuruvu - polimetacrilato de metila, polimerizadas por radiação gama. (a) amostra com impregnação e polimerização homogênea; (b), (c) amostra com impregnação e polimerização heterogênea. ENSAIO 2.

FIGURA 7. Absorção de água pelo composto madeira de guapuruvu - polimetacrilato de metila, polimerizado à várias taxas de doses de radiação gama de ^{60}Co , em função do tempo de imersão. a. 0,2 MR/h; b. 0,4 MR/h; C. 0,8 MR/h. ENSAIO 2.



Ensaio 3

Os resultados são semelhantes aos dos ensaios anteriores, ou seja, a dose total decresce com o aumento da taxa de dose (Figura 8). Considerando que as amostras de madeira foram obtidas da região do cerne, procurou-se, em função da pouca absorção do monômero das amostras do Ensaio 2, utilizar uma pressão adicional à atmosférica de 500mm Hg durante o processo de impregnação. O uso da pressão adicional mostrou resultados positivos, observando-se que a relação densidade final/densidade inicial foi de 2,2.

Foram obtidas amostras de madeira-plástico com valores constantes de densidade, usando-se pressão adicional à atmosférica durante a impregnação (Figura 10a, taxa de 1,5 MR/h e dose de 2,0 MR), ao contrário do verificado no ensaio anterior, quando houve redução da densidade na porção mediana da amostra (Figura 6b). Foram verificadas somente perdas do monômero pelas extremidades de 16% das amostras polimerizadas (Figura 10 b, taxa de 0,8 MR/h e dose de 1,2 MR). A utilização de pressão adicional para as madeiras retiradas da região do cerne e para espécies de madeira de menor permeabilidade constitui, segundo MEYER (1965) e LOSS et alii (1967), uma das importantes variáveis que influenciam na impregnação. Esse processo vácuo-pressão tem sido utilizado com bons resultados para diferentes madeiras (SIAU, 1969); LEPAGE, 1979), injetando-se ar ou nitrogênio na câmara de polimerização para forçar a entrada do monômero do interior da madeira (RAMALINGAN et alii, 1963; ERICKSON & BALATINECZ, 1964 e DAVIES et alii, 1969). Entretanto, apesar da impregnação ter sido maior nas doses consideradas suficientes para a polimerização total, houve perdas de 3 - 4% de monômero que não reagiu durante o período de irradiação. Essas perdas podem ser devido, conforme discutido no Ensaio 2, ao fato de que as amostras foram retiradas do cerne e que sua temperatura no início da irradiação estava abaixo do ambiente.

FIGURA 8. Polimerização de metacrilato de metila em madeira de guapuruvu, a diferentes taxas de dose de radiação gama de ^{60}Co . ENSAIO 3.

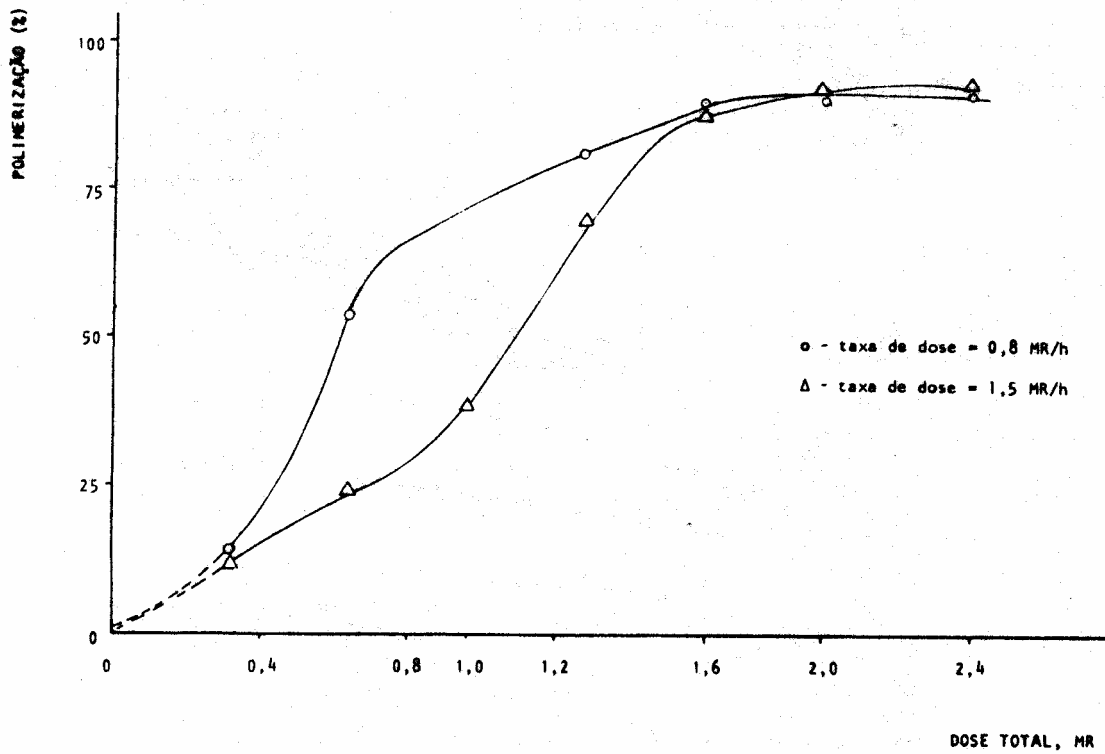


FIGURA 9. Densidade do composto madeira de guapuruvu - polimetacrilato de metila, a diferentes taxas de dose de radiação gama de ^{60}Co . ENSAIO 3.

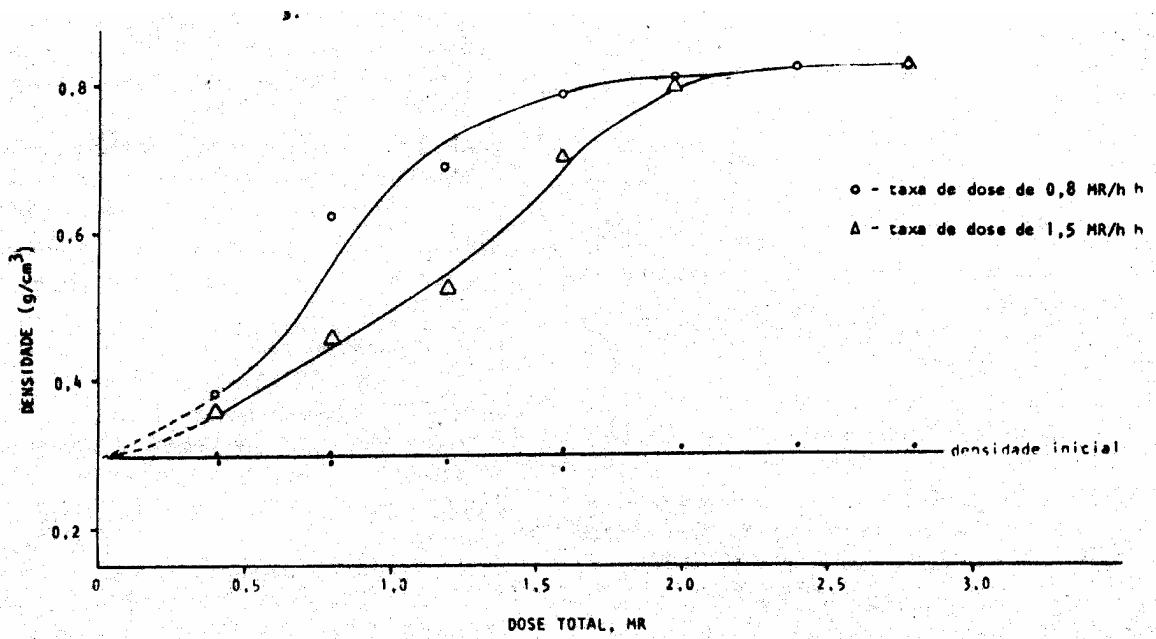
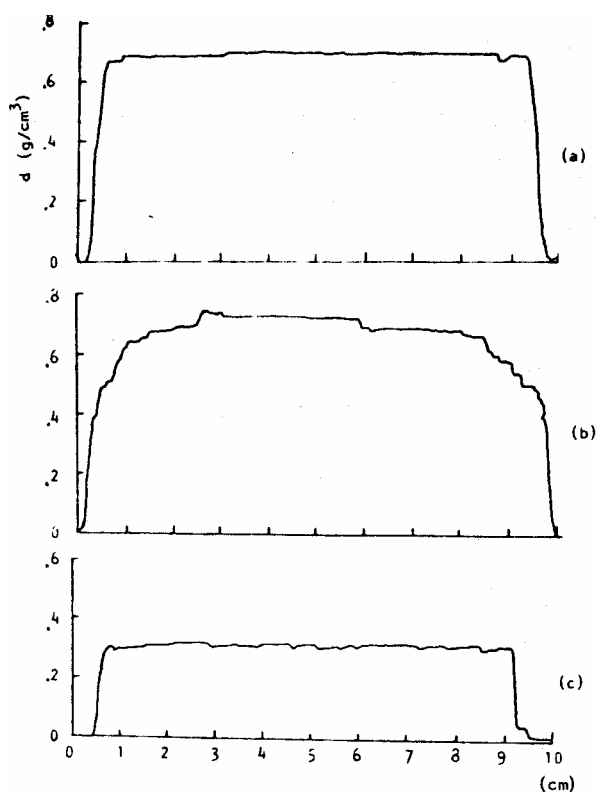


FIGURA 10.



Valores de densidade, obtidos por atenuação de radiação gama, ao longo das amostras de madeira de guapuruvu - polimetacrilato de metila, polimerizadas por radiação gama. (a) amostra com impregnação e polimerização homogênea; (b) amostra com impregnação e polimerização heterogênea; (c) amostra testemunha, sem tratamento. ENSAIO 3.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos no presente trabalho, foram extraídas as seguintes conclusões:

(a) para a polimerização total do metacrilato de metila em madeira de guapuruvu, o uso de taxa de dose de 0,8 MR/h e dose total de 2 MR de radiação gama é o mais recomendado, devido ao tempo curto de radiação e dose total suficientemente baixa para não causar degradação de celulose;

(b) o processo de polimerização de monômero em madeira promove significativos aumentos de densidade. Para madeira de guapuruvu, esses aumentos foram da ordem de 4,4 vezes (alburno) e 2,2 vezes (cerne) quando, no processo de impregnação, usou-se vácuo-pressão atmosférica; e de 2,8 vezes (cerne), com vácuo-pressão adicional à atmosférica;

(c) a temperatura da amostra impregnada, durante a irradiação, tem influência na porcentagem de polimerização. O armazenamento das amostras impregnadas, em geladeira, diminui, mas não evitou a evaporação do monômero. Por outro lado, com as amostras no

início da irradiação, a temperaturas abaixo do ambiente, o processo de polimerização foi retardado;

(d) compostos madeira-plástico, obtidos com o polimerização do monômero por radiação gama, têm diminuídas as taxas de absorção de água. Para as amostras de guapuruvu tratadas e não tratadas, as porcentagens de absorção de água foram de 97% e 272%, respectivamente;

(e) a madeira do guapuruvu admite impregnação e polimerização homogênea de metacrilato de metila, sendo, portanto, indicada para compostos madeira-plástico. Sob esse aspecto, no Brasil, a técnica de polimerização apresenta alta potencialidade pelo elevado número de espécies florestais de rápido crescimento e produtoras de madeira de baixa densidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTHUR, J.C. & BLOUIN, F.A. - Radiation-induced graft polymers of cellulose. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON RADIATION-INDUCED POLYMERIZATION AND GRAFT COPOLYMERIZATION, 29-30 nov. 1962. Proceedings. P.319-35.

BRYANT, B.S. The chemical modification of wood from the point of view of wood science and economics. Forest Products Journal, Madison, 16(2): 20-7, 1966.

BURILLO, V.G. et alii - The influence of wood extractives in the polymerization of methyl metacrylate by gamma radiation. Journal of radiation curing, México, 2: 1-6, 1975.

CARNEIRO, M.G. - Polimerização de metacrilato de metila em madeira de *Schizolobium parahyba* e *Pinus strobus* var. *chiapensis* através de radiação gama. Piracicaba, 1982. 90p. (Tese Mestrado - ESALQ).

COLLINS, C.H. et alii - Rates of polymerization of monomers in maple and birch using a variable dose rate gamma source. Forest products journal, Madison, 17(10): 52-6, 1967.

DAVIES, A.G.; ASBURY, B.H. & SMITH, C.G. - Radiation polymerization kinetics in wood polymer preparation. Wood science, Madison, 2(2): 91-9, 1969.

ERICKSON, H.D. & BALATINECZ, J.J. - Liquid flow pithy into wood using polymerization techniques douglas-fir and styrene. Forest products journal, Madison, 14(7): 293-9, 1964.

ESCOBEDO, J.F.; NASCIMENTO, F.N. & FERRAZ, E.S.B. - Dosimetria de um irradiador de ⁶⁰Co Gammabeam 650: 1 - características básicas do irradiador e calibração do ponto central da cavidade interna. Energia nuclear e agricultura, Piracicaba, 2(1): 24-37, 1980.

FERRAZ, E.A.B. - Determinação da densidade de madeiras por atenuação de radiação gama de baixa energia. IPEF, Piracicaba (12): 61-8, 1976.

- FIGUEIREDO, A.M. - Madeira impregnada com polímeros - resumo de pesquisa bibliográfica. São Carlos, UFSCAR, 4p. (apostilado), 1972.
- HUANG, R.Y.M. et alii - Grafting vinyl-polymers onto cellulose by high energy radiation: 1 - high energy radiation induced graft-copolymerization of styrene onto cellulose. In: ATOMIC ENERGY OF CANADA. Gamma irradiation in Canada. Ottawa, 1965. p.24-37.
- KENEGA, D.L.; FENESSEY, J.P. & SPANPETT, V.T. - Radiation grafting of vinyl monomers to wood. Forest products journal, Madison, 12(4): 161-8, 1962.
- LANGWING, J.E.; MEYER, J.A. & DAVIDSON, R.W. - New monomers used in making wood plastics. Forest products journal, Madison, 19(11): 57-61, 1969.
- LEPAGE, E.S. - Compostos madeira-plástico à base de madeira de *Pinus elliottii* e monômero de metacrilato de metila. São Paulo, 1979. 161p. (Tese - Doutorado - EP).
- LOOS, W.E.; WALTERS, R.E. & KENT, J.A. - Impregnation of wood with vinyl monomers. Forest products journal, Madison, 17(5): 40-8, 1967.
- MATER, J. - Chemical effects of high energy irradiation of wood. Forest products journal, Madison, 7(6): 208-8, 1957.
- MEYER, J.A. - Treatment of wood-polymer systems using catalyst-heat techniques. Forest products journal, Madison, 15(9): 362-4, 1965.
- MIETTINEN, J.M.; AUTIO, T.; SIIMES, F.E. & OLLILA, T. - Mechanical properties of wood-plastic combinates made of four finish wood species by impregnation with methyl-metacrylate or polyester and gamma polymerization. Helsinki, Institute for Technical Research, p.5-56, 1968.
- RAFF, R.A.V.; HERRICK, J.W. & ADAMS, M.F. - Polymerization of styrene and styrene-divinylbenzene in wood. Forest products journal, Madison, 15(7): 260-2, 1965.
- RAMALINGAM, K.V.; WEREZAK, G.N. & HODGINS, J.W. - Radiation-induced graft-polymerization of styrene in wood. Journal of polymer science, 2(part c): 153-67, 1963.
- SHIRAYEVA, C.V. et alii - Radiation chemical process of modification of wood by polymers. In: SYMPOSIUM ON RADIATION CHEMISTRY, Budapest, 10-15 mai. 1971. Proceedings. Tihany, International Atomic Energy Agency, 1971. P.783-94.
- SIAU, J.F.; MEYER, J.A. & SKAAR, C. - A review of developments in dimensional stabilization of wood using radiation techniques. Forest products journal, Madison 15(4): 162-5, 1965 (a).

SIAU, J.F.; MEYER J.A. & SKAAR, C. - Wood polymer combinations using radiations techniques. Forest products journal, Madison, (14): 250-3, 1969.

YOUNG, R.A. & MEYER, J.A. - Heartwood and sapwood impregnations with vinylmonmers. Forest products journal, Madison, 18(4): 66-8, 1968.