

INCREMENTO DA ADESÃO SUPERFICIAL DE MADEIRA POR MEIO DE PLASMA A FRIO

Pedro Henrique Gonzalez de Cademartori¹, Graciela Inês Bolzon de Muniz¹, *Washington Luiz Esteves Magalhães²

¹Centro de Ciências Florestais e da Madeira, Universidade Federal do Paraná (PPGEF). ²Embrapa Florestas, Centro Nacional de Pesquisas Florestais.

*washington.magalhaes@embrapa.br

Classificação: Novos Materiais e Processos em Nanotecnologia e suas Aplicações no Agronegócio.

Resumo

O presente estudo objetivou estudar o efeito de tratamentos de plasma a frio na adesão superficial de peças de madeira. Foram considerados quatro tempos de descarga luminescente (5, 15, 30 e 45 s) e um nível de potência (100 W). Os tratamentos foram realizados em um reator cilíndrico de plasma a frio em aço inoxidável desenvolvido pela Embrapa Florestas. Para tal, utilizou-se gás rarefeito de hélio. A caracterização das modificações na adesão superficial do material foi realizada por meio de ensaios de ângulo de contato aparente (CA) e volume da gotícula em um goniômetro. A área de espalhamento da gotícula foi mensurada a partir da captura de imagens de alta resolução. Os principais resultados apontam um incremento da molhabilidade superficial do material em função do aumento do tempo de descarga. Além disso, ambos os fenômenos de penetração e espalhamento foram observados na superfície do material. A utilização de tempos de descarga luminescente maiores resultou em ângulo de contato aparente (CA) nulo.

Palavras-chave: Ângulo de contato; Espalhamento; Tratamento por plasma; Modificação da superfície.

ENHANCEMENT OF SURFACE ADHESION OF WOOD THROUGH COLD-PLASMA

Abstract

This study aimed to evaluate the effect of cold-plasma treatments on surface adhesion of wood flooring pieces. We considered four times of discharge (5, 15, 30 and 45 s) and just one level of power (100 W). A stainless steel reactor developed by Embrapa Forestry was used for the plasma treatments with helium-rarefied gas. Changes on surface adhesion of the material was measured through apparent contact angle (CA) and droplet volume using a goniometer. Spreading contact area was measured through high-resolution images captured in a stereomicroscope. The main findings pointed out that higher is the time of discharge, higher is the surface wettability of the material. Furthermore, both phenomenon of penetration and spreading were observed in the materials' surface. Use of high time of luminescent discharge resulted in a null apparent contact angle.

Keywords: Contact angle; Spreading; Plasma treatment; Surface modification.

Publicações relacionadas:

CADEMARTORI, P.H.G.; MUNIZ, G.I.B.; MAGALHÃES, W.L.E. Changes of wettability of medium density fiberboard (MDF) treated with He-DBD plasma. *Holzforschung*, Aceito para publicação, 2014.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente, o uso da nanotecnologia para a modificação de superfícies de materiais tem sido mais frequente devido as suas inúmeras vantagens, tais como baixo impacto ambiental e desenvolvimento de materiais com maior resistência físico-mecânica. Entre as alternativas que se apresentam atualmente disponíveis, ressalta-se o tratamento de materiais por meio de plasma, o qual pode ser definido como um conjunto de partículas carregadas que se movem de maneira aleatória e que se caracterizam por serem eletricamente neutras (MAGALHÃES; SOUZA, 2002; LIEBERMAN; LICHTENBERG, 1994).

A atuação do plasma dá-se na superfície dos materiais, em que o objetivo principal é a modificação das propriedades químicas e físicas (INAGAKI, 1996). Apresenta capacidade de indução de polimerização de um gás precursor na superfície de determinado substrato, além da introdução de grupos funcionais (SANTOS; SIMÃO, 2010).

No setor florestal e madeireiro, o plasma apresenta recente utilização como alternativa de tratamento e modificação de madeira e de produtos à base de madeira quando comparada a outras áreas de conhecimento. Estudos anteriores com madeira sólida (ACDA et al. 2012; AVRAMIDIS et al. 2012) e materiais compósitos produzidos com fibras naturais tratadas (Lee et al., 2011) comprovaram a eficiência do tratamento por plasma para modificar os níveis de hidrofilicidade e hidrofobicidade destes materiais.

Nesse contexto, este estudo avaliou o efeito do tempo de descarga luminescente (plasma frio) na adesão superficial de peças de madeira sólida. A técnica de ângulo de contato possibilitou a mensuração do comportamento deste ângulo, bem como do volume da gotícula depositada na superfície das peças. Imagens de alta resolução foram capturadas, de maneira a permitir a avaliação da área de espalhamento da gotícula na superfície do material.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Tratamentos da superfície por plasma a frio

Peças de madeira com dimensões de 25 x 20 x 20 mm (comprimento, largura e espessura) e previamente lixadas com lixa grão 120 foram utilizadas no presente estudo. Os tratamentos de plasma a frio foram conduzidos em um reator cilíndrico de plasma a frio com 500 mm de diâmetro desenvolvido na Embrapa Florestas.

O reator está equipado com um manômetro capacitivo e uma válvula borboleta para controle da pressão no interior da câmara. Dois eletrodos de aço inoxidável com 300 mm de diâmetro formam um sistema capacitivo. Por meio de um casador de impedância, um dos eletrodos permanece conectado a um gerador de energia a alta frequência (13,5 MHz). Dois medidores de fluxo de massa controlam a admissão dos gases no interior do reator. As amostras são dispostas no eletrodo aterrado junto a base do reator.

Para os tratamentos de plasma a frio consideraram-se quatro tempos de descarga (5, 15, 30 e 45 s) e apenas um nível de potência de descarga (100 W). Gás hélio (pureza >99%) foi admitido no interior da câmara durante 180 s para eliminar impurezas. Subsequentemente, descargas luminescentes de hélio foram realizadas a uma pressão constante de $\sim 10,64$ Pa e fluxo de gás de $0,032$ m³ s⁻¹.

2.2 Caracterização de molhabilidade da superfície

A caracterização da molhabilidade deu-se por meio da determinação do ângulo de contato aparente (CA) das amostras não tratadas e tratadas. Utilizou-se um goniômetro DataPhysics OCA 15+ (método de gota sésil) em temperatura ambiente (20 ± 2 °C). Três gotículas de água deionizada (5 μ l) foram dispensadas na superfície de cada uma das amostras. Determinou-se o CA e o volume da gotícula em intervalos regulares de tempo (5, 15, 30, 45 e 60 s após a dispensação da gotícula).

Imagens de alta resolução foram capturadas por meio de um estereomicroscópio para caracterizar o comportamento da área de espalhamento das gotículas. Três gotículas de água deionizada (5 μ l) foram dispensadas na superfície de cada amostra por meio de uma micropipeta automática. As imagens foram capturadas após 15 s da dispensação da gotícula e a área de espalhamento foi mensurada em mm².

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de madeira sólida não tratadas e modificadas por plasma a frio apresentaram superfície molhável, visto que o CA foi menor que 90° (Figura 2A). O CA variou entre ~ 45 ° (controle) e ~ 0 ° (tratamento por plasma durante 45 s). Quanto maior o tempo de descarga, maior foi a redução do CA. Além disso, o tempo de descarga de 45 s resultou em total absorção da gotícula de água na superfície das peças. Rowell (2005) afirmou que o espalhamento espontâneo da gotícula de um líquido na superfície de um sólido ocorre quando a energia de adesão do líquido-sólido é igual ou maior do que a coesão do líquido. Consequentemente, observa-se um ângulo de contato sólido-líquido nulo.

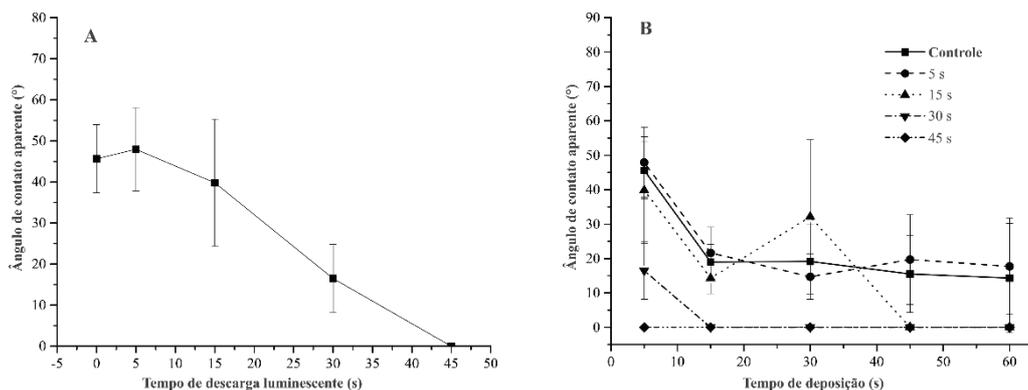


Figura 2. Ângulo de contato aparente. (A) Após 15 s de deposição na superfície do material e em função do tempo de descarga luminiscente; (B) Cinética em função do tempo de deposição na superfície do material.

Espécies ativas, tais como metaestáveis de hélio, íons, elétrons e radiação UV, em uma descarga de hélio atingem a superfície da madeira, causando reticulação das moléculas. Consequentemente, o ângulo de contato é reduzido e a energia livre de superfície é elevada (PLACINTA et al. 1997).

A cinética de absorção da gotícula das peças de madeira não apresentou um comportamento linear devido ao seu caráter hidrofílico natural (Figura 2B). Para tempos de descarga iguais ou maiores que 30 s, o CA foi nulo após 15 s de deposição da gotícula na superfície das peças. O tratamento de plasma mais drástico (45 s) resultou em total absorção da gotícula, o que impossibilitou a mensuração do CA, visto que observou-se rápida penetração e espalhamento da gotícula. A molhabilidade da madeira pode ser caracterizada em três estágios. Primeiro, há uma forte redução do CA nos primeiros segundos após o contato da gotícula com a superfície. O segundo estágio ainda apresenta redução do CA e o líquido depositado na superfície preenche os traços de rugosidade na camada superficial da madeira. No terceiro estágio, o líquido retrocede da superfície previamente molhada e penetra lentamente no substrato (LIPTÁKOVA; KÚDELA, 1994; PETRIC, 2013).

O volume da gotícula (Figura 3A) reduziu significativamente após 15 s de descarga luminiscente, comprovando a existência dos fenômenos de penetração e espalhamento da gotícula de água na superfície das peças tratadas com plasma.

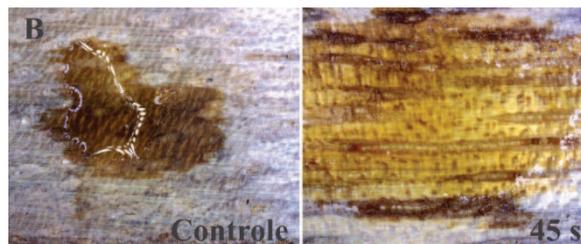
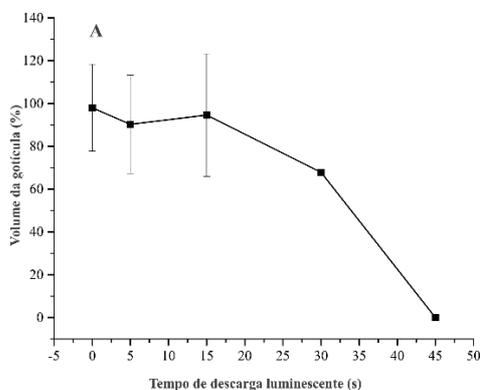


Figura 3. Volume da gotícula de água em função do tempo de descarga luminiscente (A); Imagens de alta resolução da área de espalhamento em amostras controle (não tratadas) e tratadas por plasma durante 45 s (B).

O fenômeno de espalhamento também foi observado durante a captura das imagens de alta resolução para a mensuração da área de espalhamento da gotícula (Figura 3B). As imagens de alta resolução confirmaram um espalhamento rápido em grande parte da superfície da peça tratada, o que impossibilitou a mensuração deste parâmetro. Por outro lado, confirmou a eficiência do tratamento por plasma sob a superfície das peças. De acordo com Duncan et al. (2005), os fenômenos de difusão ou de capilaridade do líquido através do substrato são responsáveis pelo espalhamento da gotícula na superfície do material. Além disso, a textura ou a direção da grã também tendem a influenciar a direção de espalhamento da gotícula.

4 CONCLUSÃO

Os tratamentos de plasma a frio incrementaram significativamente a molhabilidade da superfície das peças de madeira. A hidrofobicidade da superfície aumentou conforme a elevação do tempo de descarga luminescente. Em geral, o ângulo de contato aparente e o volume da gotícula de água foram reduzidos. Tratamentos mais drásticos em função do tempo de descarga resultaram em ângulo de contato igual ou próximo a zero.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer ao CNPq pela concessão da bolsa de doutorado (processo nº 141260/2013-0), a ANPM e a ITTO pelo suporte técnico e financeiro.

REFERÊNCIAS

- ACDA, M. N.; DEVERA, E. E.; CABANGON, R. J.; RAMOS, H. J. Effects of plasma modification on adhesion properties of wood. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, v. 32, n. 0, p. 70-75, 2012.
- AVRAMIDIS, G.; MILITZ, H.; AVAR, I.; VIÖL, W.; WOLKENHAUER, A. Improved absorption characteristics of thermally modified beech veneer produced by plasma treatment. *European Journal of Wood and Wood Products*, v. 70, n. 5, p. 545-549, 2012.
- DUNCAN, B.; MERA, R.; LEATHERDALE, D.; TAYLOR, M.; MUSGROVE, R. Techniques for characterising the wetting, coating and spreading of adhesives on surfaces. Teddington: National Physical Laboratory, 2005. 42 p.
- INAGAKI, N. *Plasma Surface Modification and Plasma Polymerization*. USA: CRC Press, 1996. 265 p.
- LEE, K., DELILLE, A., BISMARCK, A. Greener surface treatment of natural fibres for the production of renewable composite materials. In: KALIA, S., KAITH, B.S., KAUR, I (Coord.). *Cellulose Fibers: Bio- and Nano-Polymer Composites: Green Chemistry and Technology*; Springer, USA, Springer, 2011. p. 155-178.
- LIEBERMAN, M. A.; LICHTENBERG, A. J. *Principles of Plasma Discharges and Materials Processing*. 1 ed. New Jersey: John Wiley and Sons Wiley, 1994. 800 p.
- LIPTÁKOVA, E.; KÚDELA, J. Analysis of the wood wetting process. *Holzforschung*, v. 48, p. 139-144, 1994.
- MAGALHÃES, W. L.E.; SOUZA, M.F. Solid softwood coated with plasma-polymer for water repellence. *Surface and Coatings Technology*, v. 155, n. 1, p. 11-15, 2002.
- PETRIC, M. Surface Modification of Wood: A Critical Review. *Rev. Adhesion Adhesives*, v. 1, n. 2, p. 216-247, 2013.
- PLACINTA, G.; AREFI-KHONSARI, F.; GHEORGHIU, M.; AMOUROUX, J.; POPA, G. Surface properties and the stability of poly(ethylene terephthalate) films treated in plasmas of helium-oxygen mixtures. *Journal of Applied Polymer Science*, v. 66, n. 7, p. 1367-1375, 1997.
- SANTOS, A. E.; SIMÃO, R. Hidrofobicidade de filmes de amido de milho produzido por tratamento de plasma com hexafluoreto de enxofre (SF₆) e hexametildisiloxano (HMDSO). In: PAINEL PEMM, 2010, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro, 2010.
- ROWELL, R. M. *Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites*. 1th ed. : CRC Press, 2005. 487 p.