
ZnO nanoparticle: production and use for particleboard improvement

Nanopartículas de ZnO: produção e uso para o melhoramento de painéis particulados de madeira

Received: 2023-03-12 | Accepted: 2023-04-20 | Published: 2023-04-30

Felipe Oliveira Lima

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3655-094X>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: felipe.oliveira@unesp.br

Luana Cristal Lirya Silva

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3336-181X>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: luana.cristal@unesp.br

Rosangela Almeida Maia

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6280-1407>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: rosangela.maia@unesp.br

Iliane Rodrigues de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9066-5783>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: iliane.rodrigues@unesp.br

Cláudia Rodrigues de Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0654-0548>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: claudia.rodrigues@unesp.br

Higor Rogério Favarim

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8936-9319>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: higor.favarim@unesp.br

Cristiane Inácio de Campo

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9669-6820>

Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil

E-mail: cristiane.campos@unesp.br

ABSTRACT

The need for more technological products increases with nanomaterials as a viable proposal, presenting good results in many different industrial sectors, especially in wood panels. Particleboards are composites of wood that have been extensively studied, mainly in relation to the adhesives used in their manufacture, which have an influence on particleboard properties. Thus, as a way of improving these adhesives, zinc oxide nanoparticles were added, giving new properties to the particleboard. Thereby, the present work aimed to produce particleboard with the wood of Eucalyptus Urophila x Grandis hybrid and urea-formaldehyde adhesive with ZnO nanoparticles addition. The physical tests performed were density, moisture content, and thickness swelling. The mechanical tests performed were the modulus of elasticity, modulus of rupture, and bonding tests. The results obtained were submitted to statistical analysis and compared with the requirements standards, as well as with works found in the literature. The addition of

zinc oxide nanoparticles did not exercise influence on mechanical tests; however, the physical properties were improved, mainly decreasing the thickness swelling, which is usually a problem for wood products.

Keywords: Nanomaterial; Composite; Physico-mechanical properties;

RESUMO

A necessidade de produtos mais tecnológicos aumenta com os nanomateriais como uma proposta viável, apresentando bons resultados em diversos setores industriais, principalmente em painéis de madeira. Os painéis particulados são compósitos de madeira que vêm sendo bastante estudados, principalmente em relação aos adesivos utilizados em sua fabricação, que influenciam suas propriedades. Assim, como forma de melhorar esses adesivos, foram adicionadas nanopartículas de óxido de zinco. Dessa forma, o presente trabalho teve como objetivo a produção de painéis particulados com a madeira de híbrido *Eucalyptus Urophila x Grandis* e adesivo uréia-formaldeído com adição de nanopartículas de ZnO. Os testes físicos realizados foram densidade, teor de umidade e inchamento em espessura. Os ensaios mecânicos realizados foram o módulo de elasticidade, módulo de ruptura e adesão interna. Os resultados obtidos foram submetidos à análise estatística e comparados com as normas de requisitos, bem como com trabalhos encontrados na literatura. A adição de nanopartículas de óxido de zinco não exerceu influência nos ensaios mecânicos, porém, as propriedades físicas foram melhoradas, principalmente diminuindo o inchamento.

Palavras-chave: Nanomaterial; Compósitos; Propriedades físico-mecânicas;

INTRODUÇÃO

A agilidade do desenvolvimento tecnológico vem gerando a necessidade de constantes atualizações do processo produtivo, em um cenário em que a racionalização do uso de insumos é fator preponderante para a continuidade de diversos setores da indústria (LIMA et al., 2018). Nesse sentido, a fabricação de painéis de madeira tem contribuído para questões ambientais promovendo maior aproveitamento da árvore, dentre estes, o painel particulado se destaca no mercado.

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 14810-1:2013, o painel particulado é constituído por partículas de madeira e adesivos naturais ou sintéticos, consolidados sob ação de pressão e calor, sendo classificado como de média densidade quando entre 0,55 e 0,75g/cm³ e espessura de 3 mm a 50 mm.

Atualmente, o painel particulado é utilizado principalmente na produção de móveis residenciais e comerciais em linha reta (tampas, laterais de armários, prateleiras e divisórias) e, secundariamente, na construção civil (BIAZUS et al., 2010).

O processo de fabricação envolve diversas variáveis que influenciam diretamente nas propriedades do painel, como tempo de prensagem, temperatura e pressão. O material utilizado, principalmente a resina, também interfere no desempenho físico-mecânico final. Assim, buscam-

se novas tendências tecnológicas com potencial comprovado e disponibilidade de mercado para painéis de madeira reconstituída (LIMA et al., 2018).

Inovações e novas tecnologias são fundamentais para ganhar espaço no mercado atual e obter produtos mais sustentáveis e competitivos. Vale ressaltar que o processo industrial pode ser implementado com tecnologias que têm assumido papel fundamental na pesquisa, como, por exemplo, o uso de nanopartículas (SILVA et al., 2019).

Estudos do painel particulado de partículas revelam melhorias interessantes nas propriedades físico-mecânicas com a adição de nanomateriais. O uso de nanopartículas pode produzir um material com altas propriedades mecânicas, possibilitando o aprimoramento da resina (VIANA et al., 2018).

Assim, as nanopartículas estão entre os novos materiais tecnológicos pesquisados para melhorar as propriedades e variáveis de produção dos painéis, buscando comprovar a viabilidade e, principalmente, respeitando as condições ambientais e socioeconômicas, também com base na sustentabilidade, questão atualmente em foco (SILVA et al., 2019).

As nanopartículas possuem tamanhos variados em nanoescala e pode haver grande diversidade devido a sua forma e tamanho que influenciam diretamente nas propriedades e características do material (MOURDIKOU DIS, et al., 2018)

Segundo Roumeli, et al. (2018), os nanomateriais possuem muitos átomos de superfície, o que causa maior interação com o meio ambiente, onde o controle do tipo e número desses átomos permite alterações nas propriedades finais dos nanomateriais, principalmente para reações. Já para Mantanis e Papadoulos (2010), o uso de aditivos em nanoescala em resinas pode incorporar novas propriedades e também aprimorar propriedades importantes.

Veigel et al. (2012) afirma que o pequeno tamanho das nanopartículas é responsável pela sua penetração profunda na madeira, fazendo com que a química da superfície se altere, resultando em alta proteção contra a umidade.

Assim, a nanotecnologia tem sido explorada como um método de redução do inchamento de espessura do painel particulado, e diferentes pesquisadores analisaram o uso de materiais em nanoescala em painéis de madeira.

Damásio et al. (2017) estudaram a nanocelulose em MDP com resinas uréia-formaldeído e melamina-uréia-formaldeído, obtendo-se redução do inchamento em espessura e aumento do módulo de ruptura e resistência perpendicular. Já Rangavar e Fard (2015), analisaram a interação dos nanocristais de celulose com o adesivo uréia-formaldeído em juntas coladas de *Eucalyptus ssp*, verificando um aumento da resistência ao cisalhamento dos adesivos nos testes seco e úmido.

Além disso, bons resultados de propriedades mecânicas foram obtidos no tratamento do painel particulado com nanopartículas de cobre, obtendo-se um aumento no valor de MOR e na ligação interna (SALARI et al., 2013).

Ainda, estudando OSB (Oriented Strand Board) produzido com madeira de *Paulownia fortunei* e nanopartículas de SiO_2 , Mourdikoudis et al. (2018) encontraram, além de melhor adesão interna, melhor condução de calor, indicando a maior vantagem no uso de nanopartículas para a temperatura de prensagem.

Segundo Favarim e Leite (2018), os nanomateriais podem ser sintetizados por um grande número de métodos, como vias químicas, mecânicas e outras. Com isso, métodos alternativos de produção de nanopartículas também têm sido estudados para produzir nanomaterial com menor agressividade ao meio ambiente (SILVA et al., 2021, LIMA et al. 2022). Um desses métodos é o sol-gel proteico, que consiste na utilização de um precursor proteico em substituição aos materiais tóxicos comumente utilizados em nanopartículas comerciais (GULER e BÜYÜKSARI, 2011).

Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar a possível influência do material em nanoescala, pelo método sol-gel-proteico, nas propriedades físico-mecânicas de painéis de partículas de média densidade produzidos com resina de uréia-formaldeído e adição de nanopartículas de óxido de zinco.

EXPERIMENTAL

A preparação das nanopartículas utilizou o processo sol-gel-proteico, que consiste na dissolução da gelatina (precursor proteico) em água destilada à temperatura de 30°C , seguida da adição de nitrato de zinco nas mesmas proporções da gelatina (1:1), submetido a uma agitação constante com temperatura de 70°C , até a formação do gel.

Esta solução foi seca a uma temperatura de $103^\circ\text{C} \pm 2$, formando uma estrutura esponjosa, devido à eliminação de água e carbonização polimérica da estrutura da gelatina (GULER e BÜYÜKSARI, 2011).

Em seguida, o material foi triturado, transformado em cinzas a 300°C e calcinado a 600°C , por 3 h, para cristalização e formação do material nanoparticulado.

A preparação das nanopartículas é mostrada na Figura 1.

Figura 1 – Produção das nanopartículas: Dissolução (a); Formação do gel (b); Estrutura esponjosa (c); Cinzas (d); Nanopartículas (e)



Fonte: Autoria própria.

Com relação aos painéis particulados, esses foram produzidos com a madeira do híbrido *Eucalyptus Urophila x Grandis*, e as dimensões das partículas foram peneiradas em tamanho 5, 9 e 16 para duas camadas externas, 35 e 60 mesh para camada interna, e secas a $103 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, até 3% de umidade.

Ao todo, foram produzidos 10 painéis de partículas de 45 x 45 cm, que eram painéis de partículas sem adição e painéis de partículas com 1% de adição de nanopartículas.

O adesivo utilizado foi Ureia-Formaldeído (UF) (teor de sólidos de 65%) e a dosagem foi fixada com base no peso das partículas utilizando 10% para a camada externa e 8% para a camada interna, catalisador e emulsão parafinada. As nanopartículas foram adicionadas ao adesivo, conforme metodologia de Silva et al. (2019), onde o adesivo foi pulverizado por uma pistola de ar sobre as partículas de madeira.

Após a secagem das partículas, o adesivo foi pulverizado sobre elas e o colchão de partículas foi formado. Em seguida, para a formação do colchão de partículas, foram utilizados 1500 g de partículas de madeira na proporção de 20% a 60% a 20%.

Para finalizar a formação do colchão de partículas, foi realizada uma pré-prensagem a frio em prensa pneumática por 600 s e pressão de 0,3 MPa. Em seguida, iniciou-se a prensagem a quente (4 MPa e 150°C) do painel particulado com um ciclo total de prensagem de 600 segundos, onde foram realizadas duas etapas de alívio de pressão de 30 segundos. Por fim, foi realizada a caracterização dos painéis particulados e os resultados foram analisados estatisticamente pelo teste t, com nível de significância de 5%, utilizando o software R 3.2.0.

A Figura 2 ilustra as etapas de produção do painel particulado.

Figura 2 – Produção dos painéis: Encolagem (a); Pré-prensagem (b); Colchão formado (c); Prensagem (e)



Fonte: Autoria própria.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos nos ensaios de caracterização física para densidade, teor de umidade, inchamento em espessura de 24h e absorção de água em 24h,

recomendados pela norma brasileira ABNT NBR 14.810:2013, norma europeia EN 312 e ANSI A208.1:2016.

Tabela 1 – Resultados dos ensaios de caracterização física

Nanoparticle	0%	1%	P-value	ABNT	EN	ANSI
Densidade (kg/m^3)	639,2 (32,5)	655,1 (69,60)	0,283	551 – 750	500 – 800	620-670
Teor de umidade (%)	7,41 (0,65)	5,95 (1,02)	0,001	5 - 11%	-	10%
Inchamento 24h (%)	27,46 (7,30)	17,87 (4,74)	0,003	<18%	<16%	-
Absorção 24h (%)	35,99 (7,69)	28,24 (7,96)	0,041	-	-	-

Fonte: Autoria própria.

De acordo com a ABNT NBR 14810:2013, em painéis particulados com densidade média, os valores devem estar entre 551 a 750 (kg/m^3) e teor de umidade entre 5 e 11%, para ANSI 208.1:2016 os valores para teor de umidade devem ser de até 10 %. Todos os resultados obtidos para ambos os testes estão de acordo com a ABNT NBR 14.810:2018, ANSI 208.1:2016 e EN 312:2010. Ao analisar a densidade, percebe-se que não diferiram entre si. Além disso, mesmo que tenha ocorrido uma transferência de calor mais rápida, como indicado por outras pesquisas (SILVA et al., 2019; LIMA et al., 2022), houve pouca variação na espessura.

Para o teor de umidade, o painel particulado produzido com adição de nanopartículas diferiu, diminuindo a propriedade. Este fato pode ter ocorrido devido a uma melhor e mais homogênea transferência de calor com a adição de nanopartículas de óxido de zinco.

Os valores de inchamento em espessura encontrados para painéis particulados produzidos sem nanopartículas não estão de acordo com a norma brasileira, porém, a adição do material em nanoescala permitiu a adequação à ambas as normas referenciadas. Além disso, o nanomaterial permitiu a redução do inchamento em espessura, apresentando diferença estatística e, portanto, melhorando os resultados.

Uma pesquisa utilizando uréia formaldeído em painel particulado, nas mesmas proporções deste estudo, obteve valores de 16,65% para inchamento em espessura e 68,45% para absorção em painéis particulados com densidade de aproximadamente 700 kg/m^3 . Já para densidade de 796 kg/m^3 os valores foram de 25,71% e 77,57%, respectivamente. Esses valores estão de acordo com a presente pesquisa e ressaltam a dificuldade em enquadrar o inchamento nas referências normativas (MELO et al., 2014).

Em relação à absorção 24 horas, embora não haja diferença estatística, também se observa uma tendência de queda. Em outras pesquisas, foram encontrados valores elevados para essas propriedades, com resultados entre 43,37% e 70,51% para absorção de água, e 30,39% e 49,57% para inchamento em espessura. Portanto, é válido ressaltar que apesar da constante evolução dos

painéis particulados, o contato com a água ainda são problemas frequentemente enfrentados e estudados pelas indústrias madeireiras (VALLE et al., 2020).

Buscando em literaturas, para painéis particulados produzidos com adição de nanopartículas de óxido de zinco a 180 °C, também foi encontrada melhora nas propriedades físicas, com valores diminuindo de 22,20% para 14,90% no inchamento em espessura 24h e de 30,29% para 21,01% na absorção de água 24h (SILVA et al., 2019). Assim, é possível dizer que esses valores também estão próximos e consistentes com a presente pesquisa.

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios mecânicos.

Tabela 2 – Resultados dos ensaios de caracterização física

	0%	1%	P-value	ABNT	EN	ANSI
MOE (MPa)	1918,13 (387,13)	2001,60 (301,98)	0,737	>1800	>1800	2000
MOR (MPa)	13,07 (1,73)	14,18 (3,25)	0,358	>11	>11.5	13,0
Adesão Interna (MPa)	0,44 (0,18)	0,52 (0,14)	0,369	> 0,4	>0,28	0,55

Fonte: Autoria própria.

Os ensaios de caracterização mecânica para módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR) e adesão interna, são recomendados pela norma brasileira ABNT NBR 14810: 2013 (classe P4), norma europeia EN 312 e ANSI 208.1:2016 (classe M2).

Observando a Tabela 2, foi possível notar que todos os tratamentos seguiram padrões não estruturais para uso interno em condições secas. Em relação ao efeito da adição das nanopartículas de óxido de zinco, é possível observar que os valores médios não diferiram para nenhum dos ensaios mecânicos realizados, não definindo assim uma clara interferência do nanomaterial nas propriedades físico-mecânicas. Apesar disso, observou-se uma tendência de melhora.

A mesma tendência foi encontrada no estudo de painéis particulados produzidos a 180 °C com adição de óxido de zinco, onde os valores de MOE aumentaram de 1875,25 MPa para 2511,28 MPa, MOR de 11,32 para 14,52 e ligação interna de 0,44 para 0,46 (SILVA et al., 2019).

Em outra pesquisa, que estudou painéis particulados com adição de nanopartículas de cobre, foram encontrados valores próximos a 12 MPa para o módulo de ruptura e 0,48 MPa para a ligação interna (SILVA et al., 2021).

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos pelo presente estudo permitiram concluir que as nanopartículas de óxido de zinco (ZnO) interferem positivamente nas diferentes propriedades do painel particulados, com destaque para as propriedades físicas.

Para as propriedades mecânicas, embora não tenha sido encontrada diferença estatística entre as médias em questão, foi possível verificar uma tendência de melhora com a adição das nanopartículas de ZnO.

Em relação às propriedades físicas, principalmente quanto ao inchamento e absorção, propriedades consideradas críticas para o painel particulados, a adição de nanopartículas melhorou significativamente o desempenho. Assim, revela-se uma alternativa de estudo promissora para as indústrias do setor, uma vez que a adição de uma pequena porcentagem deste nanomaterial já proporcionou melhora significativa.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro da bolsa 2016/23936-0 da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) e o apoio e coordenação da Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

BIAZUS A. et al., **Panorama de mercado:** painéis de madeira. BNDES Setorial, v.32, n.49, 2010.

DAMÁSIO, R.A.P. et al., Interação de nanocristais de celulose com o adesivo ureia-formaldeído em juntas coladas de Eucalyptus sp. **Scientia Forestalis**, v.45, n.113, p.169, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n113.17>. Acesso em: 14 abr. 2023

FAVARIM, H.R.; LEITE, L.O. Performance of ZnO nanoparticles for fire retardant and UV protection of pine wood. **Bioresources**, v.13, n.3, p.6963-6969, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.15376/biores.13.3.6963-6969>. Acesso em: 14 mar. 2023.

GULER, C; BÜYÜKSARI, Ü., Effect of Particle Size and Geometry on the Performance of Single-layer and Three-layer Particleboard Made from Sunflower Seed Husks. **Bioresources**, v.6, n.4, p.5027-5036, 2011. DOI: [10.15376/biores.6.4.5027-5036](https://doi.org/10.15376/biores.6.4.5027-5036). Disponível em: https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wp-content/uploads/2016/06/BioRes_10_1_1127_Cosereanu_BZF_Effect_Particle_Size_Geometry_Adhesive_5861.pdf. Acesso em: 14 mar. 2023.

KUMAR, B.; KIM, S.W., 2012, Energy harvesting based on semiconducting piezoelectric ZnO nanostructures. **Nano Energy**, v.1, n.3, p.342-355. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.nanoen.2012.02.001>. Acesso em: 20 mar. 2023.

LIMA, F. O. et al. Adição de nanopartículas em painéis engenheirados de madeira, **Brazilian Journal of Development**, v.8, n.1, p.2659-2667, 2022. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.34117/bjdv8n1-173>. Acesso em: 14 mar. 2023.

LIMA, F. O. et al. Influence of the Addition of Al₂O₃ Nanoparticles and the Duration of Pressing on the Physical Properties of OSB Panels, **BioResources**, v.17, n.2, 2022. DOI: [10.15376/17.2.3014-3024](https://doi.org/10.15376/17.2.3014-3024). Disponível em: <https://bioresources.cnr.ncsu.edu/resources/influence-of-the-addition-of-al2o3-nanoparticles-and-the-duration-of-pressing-on-the-physical-properties-of-osb-panels/>. Acesso em: 14 mar. 2023.

LIMA, F.O. et al, Pressing time influence on physical and mechanical properties of MDP panels, **Scientia Forestalis**, v.46, p.387-393, 2018. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v46n119.06>. Acesso em: 20 mar. 2023.

MANTANIS, G.I.; PAPADOPOULOS, A.N. Reducing the thickness swelling of wood based panels by applying a nanotechnology compound. **European Journal of Wood and Wood Products**, v.68, p.2, n.237, 2010. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s00107-009-0401-6>. Acesso em: 14 abr. 2023

MELO, R.R. et al. Physical and Mechanical Properties of Particleboard Manufactured from Wood, Bamboo and Rice Husk. **Materials Research**, v.17, n.3. 2014. Disponível em: <https://dx.doi.org/1590/S1516-14392014005000052>. Acesso em: 14 abr. 2023.

MOURDIKOU DIS, S et al, Characterization techniques for nanoparticles: comparison and complementarity upon studying nanoparticle properties. **Nanoscale**, v.10, n.12871, 2018.

RANGAVAR, H.; FARD, M.S. The Effect of Nanocopper Additions in a Urea-Formaldehyde Adhesive on the Physical and Mechanical Properties of Particleboard Manufactured from Date Palm Waste. **Mechanics of Composite Materials**. V.1, n.51, 2015. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s11029-015-9482-y>. Acesso em: 20 mar. 2023.

ROUMELI, E. et al, Synthesis, characterization and thermal analysis of urea-formaldehyde/nanoSiO₂ resins. **Thermochimica Acta**; v.527, p.12, n.33, 2012. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.tca.2011.10.007>. Acesso em: 14 mar. 2023.

SALARI, A. et al. Improving some of applied properties of oriented strand board (OSB) made from underutilized low quality paulownia (*Paulownia fortunei*) wood employing nano-SiO₂ **Industrial Crops and Products**, v.42, n.1, p.9, 2013. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.05.010>. Acesso em: 14 abr. 2023.

SILVA, A.P.S, et al. Physical properties of medium density fiberboard produced with the addition of ZnO nanoparticles. **Bioresources**, v.14, n.1, p.1618-1625. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.15376/biores.14.1.1618-1625>. Acesso em: 14 abr. 2023.

SILVA, L. C. L., et al. Influence of the Al₂O₃ and CuO nanoparticles addition on the particleboard physical properties, **Brazilian Journal of Development**. v.7, n.5, p. 52535-52543, 2021. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.34117/bjdv7n5-588>. Acesso em: 14 mar. 2023.

SILVA, L.C. et al., Heat transfer and physical-mechanical properties analysis of particleboard produced with ZnO nanoparticles addition, **Bioresources**, v.4, n.14,

p.9904-9915, 2019. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.15376/biores.14.4.9904-9915>. Acesso em: 20 mar. 2023.

TAGHIYARI, H.R., Study on the effect of nano-silver impregnation on mechanical properties of heat-treated *Populus nigra* **Wood Science and Technology**, v.45, n.2, p.399, 2011. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1007/s00226-010-0343-5>. Acesso em: 14 abr. 2023.

VALLE, A.C.M. et al., Physical and mechanical properties of particleboard from eucalyptus grandis produced by urea formaldehyde resin with SiO₂ nanoparticles. **Engenharia Agrícola**, v.40, n.3, p.289, 2020. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v40n3p289-293/2020>. Acesso em: 14 abr. 2023.

VEIGEL, S.R.J. et al., Particle Board and Oriented Strand Board Prepared with Nanocellulose-Reinforced Adhesive. **Journal of Nanomater**, 2012, 8. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.1155/2012/158503>. Acesso em: 14 abr. 2023.

VIANA, L.C. et al, Propriedades físicas e mecânicas de filmes nanoestruturados obtidos a partir de polpa Kraft de *Pinus* sp. não branqueada. **Scientia Forestalis**, v.45, n.116, p.653, 2017. Disponível em: <https://dx.doi.org/10.18671/scifor.v45n116.06>. Acesso em: 20 mar. 2023.