



AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA COMO ESTRATÉGIA PARA SELEÇÃO DE MATÉRIAS-PRIMAS NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS PARTICULADOS

**Letícia Missiatto Gavioli ⁽¹⁾; Cristiane Bueno ⁽²⁾; João Adriano
Rossignolo ⁽³⁾**

(1) Universidade de São Paulo – leticiamissiattogavioli@gmail.com; (2) Universidade Federal de São Carlos –
bueno.cristiane@gmail.com; (3) Universidade de São Paulo – j.a.rossignolo@gmail.com

“SUBMISSÃO PARA AMBIENTE CONSTRUÍDO”

RESUMO

Nas últimas décadas, a produção de painéis de partículas expandiu devido à necessidade de otimização do uso da madeira e à maior demanda na indústria moveleira. As principais matérias-primas para fabricação de painéis de partículas são madeiras de pinus e eucalipto. Como alternativa, estudos utilizam como matérias-primas resíduos lignocelulósicos da agroindústria, motivados pela grande disponibilidade, baixo custo e apelo ambiental. Pesquisas sobre painéis de partículas de bagaço de cana-de-açúcar (BCA) apresentam requisitos físicos e mecânicos que atendem normas brasileiras e internacionais para função não estrutural e uso interno em condições secas. Além disso, ao reduzir a demanda por extração de madeira virgem, o uso de BCA pode provocar variações nos impactos ambientais do ciclo de vida de produto, quando comparado à madeira. Dessa forma, esse estudo apresenta um panorama atual dos estudos realizados sobre a produção de painéis de partículas com três matérias-primas: eucalipto, pinus e BCA e seus potenciais de impactos ambientais. A Avaliação de Ciclo de Vida (ACV) é apresentada como estratégia ambiental para escolhas de matérias-primas em consonância com a economia circular, em sistemas e processos. Foi realizada uma abrangente revisão de literatura, nas bases de dados “Web of Science” e “Scopus”, e resultados indicam que os painéis de BCA apresentam menores impactos ambientais quando comparado ao eucalipto e pinus.

Palavras-chave: bagaço de cana-de-açúcar, ACV, MDP.



LIFE CYCLE ASSESSMENT AS A STRATEGY FOR THE SELECTION OF RAW MATERIALS IN THE PARTICLEBOARD PRODUCTION

ABSTRACT

In the last decades, the production of particle board has expanded due to the need to optimize the use of wood and the greater demand in the furniture industry. The main raw materials for the manufacture of particle board are pine and eucalyptus wood. As an alternative, studies use as raw materials lignocellulosic residues from agroindustry, motivated by high availability, low cost and environmental appeal. Research on particle board of sugarcane bagasse (SB) presents physical and mechanical requirements that meet Brazilian and international standards for non-structural function and internal use in dry conditions. In addition, by reducing the demand for virgin wood extraction, the use of SB can lead to variations in the environmental impacts of the product life cycle when compared to wood. Thus, this study presents a current panorama of the studies carried out on the production of particle panels with three raw materials: eucalyptus, pinus and SB and their environmental impact potentials. The Life Cycle Assessment (LCA) is presented as an environmental strategy for raw material choices in line with circular economy in systems and processes. A comprehensive literature review was conducted on the Web of Science and Scopus databases and results indicate that SB panels have lower environmental impacts when compared to eucalyptus and pinus.

Key-words: sugarcane bagasse, LCA, MDP.



1. INTRODUÇÃO

O Brasil foi o 8º maior produtor mundial de painéis de madeira reconstituída do mundo em 2016⁽¹⁾, com produtividade de 7,3 milhões de metros cúbicos, sendo 3 milhões referentes ao MDP (*medium density particleboard*). As principais matérias-primas dos painéis MDP correspondem ao setor brasileiro de árvores plantadas, que em 2016 representou 7,84 milhões de hectares de reflorestamento, onde 5,7 milhões são de eucalipto e 1,6 milhão é de pinus⁽¹⁾.

Entretanto, devido à pressão sobre as florestas de crescimento lento, estudos estão sendo realizados buscando avaliar novas matérias-primas ambientalmente corretas para a fabricação de painéis, como resíduos agroindustriais, que têm apresentado notável potencial como matéria-prima para painéis particulados, visto que a composição química destes resíduos é similar à da madeira⁽²⁾.

Pesquisas estão sendo realizadas sobre o uso de resíduos agroindustriais para a produção de painéis particulados alternativos, principalmente com a utilização do bagaço de cana-de-açúcar^(3,4,2,5), nas quais o produto apresentou propriedades físicas e mecânicas atendendo a norma brasileira NBR 14810⁽⁶⁾, a norma americana ANSI A.208.1⁽⁷⁾ e europeia EN 312⁽⁸⁾ para painéis de partículas, garantindo sua utilização para os mesmos fins que os painéis convencionais.

Mas antes de esses produtos serem chamados de “sustentáveis” é essencial entender todas as consequências envolvidas e os reais ganhos para o meio ambiente e para o setor em questão⁽⁹⁾. Uma maneira de quantificar consistentemente o aspecto ambiental para avaliar ou comparar um ou mais sistema de produto ou serviço é aplicar uma Avaliação de Ciclo de Vida (ACV).

A ACV é uma técnica de gestão ambiental baseada em normas ISO (International Organization for Standardization), NBR ISO 14040⁽¹⁰⁾ e NBR ISO 14044⁽¹¹⁾, porém estudos sobre ACV aplicada a painéis de partículas são escassos. De acordo com pesquisas nas bases de dados Scopus (de e Web of Science, de 2004 até Maio de 2019, foram publicados uma média de 30 artigos, relacionando as palavras-chave “LCA” (*Life Cycle Assessment*) e “particleboard”.

Pesquisadores aplicaram a ACV comparativa entre um painel de partículas de aparas de pinus e outro de partículas de bagaço de cana-de-açúcar⁽⁹⁾. Os resultados indicaram que o painel de BCA apresentou menores impactos ambientais potenciais.

Ainda assim, foram estudados os impactos ambientais da produção de painéis de partículas utilizando BCA e uma das categorias de impacto ambiental que se mostrou mais expressiva



referente a produção do bagaço foi a de eutrofização⁽¹²⁾, devido a quantidade de fertilizantes aplicados na fase agrícola da cana-de-açúcar.

Dessa forma, este estudo busca, por meio de revisão de literatura, comparar os impactos ambientais potenciais apresentados por estudos de ACV de BCA como matéria-prima alternativa em relação às matérias-primas convencionais, pinus e eucalipto, para produção de painéis de partículas, a fim de atuar como uma estratégia ambiental na escolha de matérias-primas.



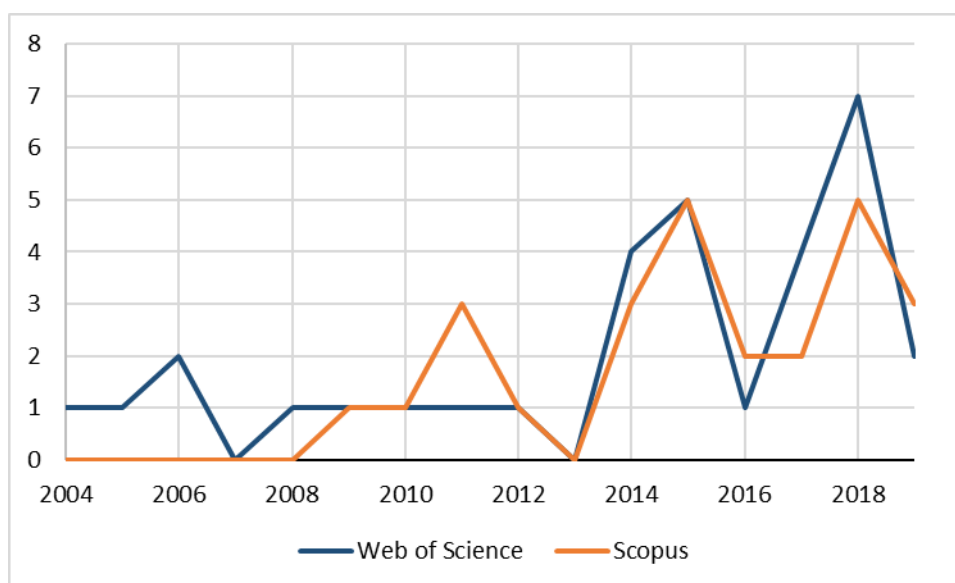
2. METODOLOGIA

A metodologia deste estudo foi desenvolvida em três etapas: 1) Mapeamento de estudos existentes de ACV aplicado em painéis de partículas; 2) Seleção de estudos referentes às matérias-primas estudadas (BCA, pinus e eucalipto); 3) Identificação das categorias de impacto mais expressivas para cada matéria-prima e discussão das mesmas.

2.1 Mapeamento de estudos existentes

Com o intuito de mapear os estudos existentes sobre a aplicação da ACV em painéis de partículas, foram realizadas buscas nas bases de dados *Scopus* e *Web of Science* vinculando as palavras-chaves “LCA” (*Life Cycle Assessment*) e “*particleboard*”. A Figura 1 apresenta os resultados encontrados.

Figura 1 – Quantidade de estudos encontrados nas bases de dados.



As pesquisas realizadas nas bases de dados *Scopus* (de 2009 até maio de 2019) e *Web of Science* (de 2004 até maio de 2019), apresentam um total de 29 e 32 artigos publicados, respectivamente. Apesar do crescimento no número de estudos a partir de 2014, o número é considerado pequeno se comparado às pesquisas que vinculam as palavras “*particleboard*” e “*pinus*” ou “*eucalyptus*”.

O estudo da técnica de ACV é recente, as publicações nas bases de dados apresentadas datam de 15 anos atrás e o mapeamento de pesquisas existentes pode divulgar o panorama atual do tema e



expor questões que ainda não foram totalmente solucionadas como oportunidades de novas pesquisa.

2.2 Seleção de estudos referentes às matérias-primas

Dentre os artigos encontrados, foram feitas pesquisas nos próprios sites das bases de dados com outras palavras-chaves: “pinus”, “eucalyptus”, “wood”, “bagasse” e “sugarcane” para selecionar dentre o total, os artigos relacionados com cada matéria-prima. Além disso, foi realizada uma análise do título e resumo de cada artigo para verificar se os mesmo estavam em consonância com a proposta deste estudo.

A maioria dos estudos encontrados sobre painéis de partículas e ACV são relacionados a madeira ou comparação entre o uso de madeira e resíduos de madeira ^(13, 14, 15, 16, 17), e em muitos não há especificação da espécie de madeira utilizada. Com as palavras-chaves “bagasse” e “sugarcane”, apenas um artigo foi encontrado⁽⁹⁾, dessa forma foi realizada uma busca separada com as palavras “LCA” e “sugarcane” e “bagasse”, onde somente mais um foi relacionado a produção de painéis de partículas⁽¹²⁾.

2.3 Identificação de principais Categorias de Impacto

A partir da seleção de artigos publicados que vinculam ACV, painéis de partículas e as matérias-primas referentes ao presente estudo, foi realizada uma análise em cada um para identificação do software utilizado, metodologia de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) e as Categorias de Impacto (CI) mais relevantes para cada material.

A discussão apresentada nesse artigo pretende analisar os impactos ambientais do pinus, eucalipto e BCA para a produção de painéis de partículas e difundir a ACV como uma estratégia ambiental na escolha de matérias-primas com menores impactos ambientais.

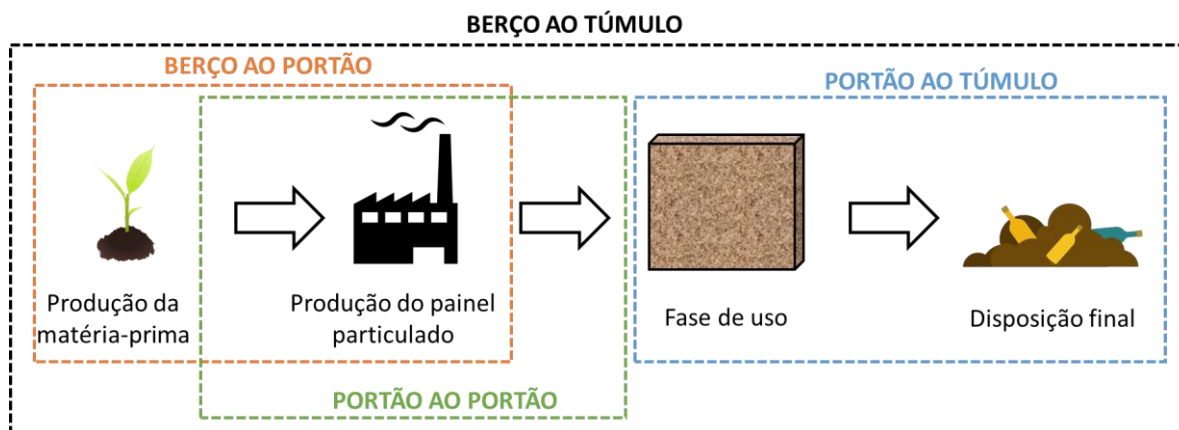


3. AVALIAÇÃO DE CICLO DE VIDA

A Avaliação de Ciclo de Vida é uma técnica de gestão ambiental dividida em quatro fases: definição de objetivo e escopo, inventário de ciclo de vida (ICV), avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) e interpretação dos resultados, os quais podem apresentar conclusões robustas e recomendações para melhorias⁽²⁰⁾. O objetivo de uma ACV compreende as razões para a execução do estudo, a aplicação pretendida, o público-alvo e se os resultados serão divulgados publicamente⁽¹⁸⁾.

A ACV pode ser aplicada, de acordo com o objetivo proposto, com diversas abrangências, como do berço ao túmulo, que compreende toda a aquisição da matéria-prima, produção, uso, tratamento pós-uso, reciclagem, sua disposição final e os respectivos transportes⁽¹⁹⁾. Como exemplo, a Figura 2, identifica as abrangências de uma ACV.

Figura 2 – Possíveis abrangências das fronteiras de uma ACV.



Na fase de ICV são quantificadas todas as entradas e saídas de cada processo para a manufatura de uma unidade funcional do produto e na fase de AICV, são definidas as categorias de impacto que serão utilizadas no estudo. Uma categoria de impacto é uma classe que representa as questões ambientais relevantes às quais pode-se associar os resultados da análise do inventário do ciclo de vida, e o indicador de impacto é uma representação quantificável de uma categoria⁽¹⁰⁾.



4. PANORAMA ATUAL DA ACV EM PAINÉIS DE PARTÍCULAS

Os resultados de uma ACV podem indicar qual processo do sistema produtivo apresenta os maiores impactos ambientais potenciais ou nos casos de ACV comparativa, pode-se apontar qual produto ou serviço apresenta maiores influências ao meio ambiente. Segundo a NBR 14044⁽¹¹⁾, a aplicação da ACV pode ainda identificar oportunidades de melhorias e subsidiar níveis de informações de tomadores de decisão na indústria.

A fabricação de gabinetes de escritório produzidos com painéis MDP de eucalipto foi analisada em uma indústria de médio porte para propor melhorias ambientais⁽¹⁶⁾. Os maiores impactos ambientais foram decorrentes da produção do painel MDP e do transporte do produto. Foi sugerido o estudo de outros cenários com combustíveis e insumos ambientalmente corretos para a produção de MDP, como por exemplo, o uso de resíduos.

No Japão, a ACV avaliou os impactos ambientais de painéis de partículas e painéis de fibras, como MDF (medium density fiberboard), HB (hard fiberboard) e IB (insulation fiberboard)⁽²¹⁾. Para os painéis de partículas e MDF, os principais impactos ambientais foram as emissões de formaldeído. Segundo os autores⁽²¹⁾, em outros lugares as regulamentações sobre essas emissões no estágio de uso não são tão rigorosas (como EUA e Europa) como no Japão, mas a tendência é a redução devido aos impactos na saúde humana.

A produção de painéis de partículas de eucalipto foi estudada também no Irã, no qual os maiores impactos ambientais foram devidos à produção da resina utilizada, ureia-formaldeído⁽²²⁾, além da eletricidade e do transporte. Foram apresentadas recomendações de redução nas distâncias de transporte e otimização no consumo elétrico por maior eficiência nos motores e redução de horas paradas de trabalho.

A ACV foi utilizada para avaliar ambientalmente a produção de um guarda-roupas feito de painéis de média densidade no Brasil, estado de São Paulo. Nesse estudo⁽¹⁵⁾, foi feita uma análise do berço ao portão e os maiores impactos ambientais foram relacionados ao suprimento de matérias-primas e ao transporte para distribuição do produto. Os autores sugerem otimização no sistema de transporte e uso de matérias-primas alternativas, como o uso de madeira reciclada.

O uso da ACV para comparação entre dois produtos foi realizado no Brasil ao relacionar os impactos ambientais em todo o ciclo de dois diferentes painéis de partículas: MDP de aparas de



pinus e MDP de BCA⁽⁹⁾. O painel de pinus apresentou maiores impactos ambientais devido a distância de transporte das matérias-primas e ao uso da resina UF. Como sugestões para pesquisas futuras, novos adesivos vêm sendo estudados em escala piloto e uma ACV de painéis com diferentes resinas poderia analisar a que apresente menores impactos ao meio ambiente.

Em Hong Kong, um estudo recente aplicou a ACV para comparar alguns cenários de destinação de resíduos de madeira como matéria-prima alternativa para alguns processos⁽¹⁷⁾. Nos cenários onde houve comparação do uso do resíduo de madeira, o emprego dessa matéria-prima alternativa foi responsável por reduzir os impactos ambientais do sistema em que foi inserida.

Além de estudos com o painel de partículas, foi realizada ACV comparando painéis MDP convencionais e painéis de partículas ultraleves com a inserção de uma camada intermediária de espuma expandida baseada em ácido polilático⁽²³⁾. Essa espuma reduziu a emissão de gases efeito estufa, porém ela também apresentou maiores valores de ecotoxicidade devido aos processos agrícolas envolvidos em sua produção.

Apesar de os estudos de ACV apresentarem conclusões gerais sobre quais os maiores impactos ambientais ou as melhores matérias-primas, dependendo da metodologia de Avaliação de Impacto de Ciclo de Vida (AICV) utilizada, diferentes Categorias de Impacto (CI) são empregadas e uma análise individual destas pode apresentar oportunidades de melhorias mesmo nos melhores processos ou insumos.

4.1 CI expressivas e hotspots em pinus, eucalipto e BCA

No estudo de ACV do berço ao portão do guarda-roupas de painéis MDP, utilizou-se o método EDIP-97 para AICV⁽¹⁵⁾. Esse método possui 11 categorias de impacto e segundo o autor, foi desenvolvido baseado em modelos globais não desenvolvidos apenas para condições europeias. Nesse estudo⁽¹⁵⁾, após normalização, três categorias foram responsáveis por 68% de todos os impactos: toxicidade humana (TH), aquecimento global (AG) e acidificação (AC).

Para os outros estudos, não foi realizada normalização e as CIs mais expressivas foram citadas pelos autores por se destacarem em relação aos *hotspots*. Na Tabela 1 são apresentados os principais artigos utilizados na presente revisão bibliográfica. É importante ressaltar que os hotspots e as CIs mais impactantes variam de acordo com os materiais utilizados, processos de produção, fronteiras, transporte e fonte de energia, por exemplo, e esses fatores também se alteram de acordo com o país ou a região na qual é realizado o estudo.



Tabela 1 – Revisão de estudos de ACV em painéis de partículas.

Referência	Produto/ Unidade Funcional	Partículas	Sistema de produto	Método AICV	CI mais significativas	Hotspots
(21)	1 m ³ de painel de partículas	Madeira não definida	Berço ao portão	CML e USEtox	Toxicidade humana (TH)	Adesivo
(16)	1 gabinete de escritório com porta de correr	Eucalipto	Berço ao túmulo	ILCD 2011	Aquecimento global (AG)	Transporte e produção das matérias- primas
(22)	1 m ³ de painel de partículas	Eucalipto	Portão ao portão	CML-IA	Acidificação (AC), depleção da camada de ozônio (DCO), ecotoxicidade marinha (EM), oxidação fotoquímica (OF)	Resina UF, eletricidade e transporte
(15)	1 guarda- roupas feito com MDP	Madeira não definida	Berço ao portão	EDIP-97	Toxicidade humana (TH), aquecimento global (AG), acidificação (AC)	Suprimento de matérias- primas e distribuição de produto
(9)	1 m ² de painel de partículas	Pinus e BCA	Berço ao túmulo	EDIP	Aquecimento global (AG), eutrofização (ET), acidificação (AC)	Transporte e adesivo
(23)	1 m ³ de painel de partículas	Madeira não definida	Berço ao portão	CLM2001	Aquecimento global (AG), ecotoxicidade (EC)	Matéria-prima



(17)	1 t de resíduo de madeira	Pinus e eucalipto	Berço ao portão	IMPACT 2002	Aquecimento global (AG)	Transporte e matéria-prima
(12)	1 m ³ de painel de partículas	BCA	Berço ao portão	CML e USEtox	Depleção abiótica (DA), ecotoxicidade (EC), eutrofização (ET), toxicidade humana (TH)	Óleo combustível pesado, eletricidade e resina UF

Em relação aos estudos que apresentam como produto o gabinete de escritório e o guarda-roupas, as comparações com os outros estudos não serão realizadas pois o processo produtivo envolve mais etapas do que a produção de um painel de partículas^(15,16). Ainda assim, as CIs mais relevantes para ambos os casos foram a toxicidade humana (TH), principalmente devido às emissões de formaldeído presente nos adesivos utilizados, aquecimento global (AG) e acidificação (AC) graças às emissões de gases de efeito estufa durante o transporte e a geração de eletricidade.

Considerando a CI de aquecimento global (AG), para a produção de 1m³ de painel no Japão há a emissão de 440 kg de CO₂ equivalentes⁽²¹⁾, no Irã o valor é em torno de 433 kg de CO₂ equivalentes⁽²²⁾. O estudo de Silva et al.⁽¹²⁾ aponta o valor de 319 kg de CO₂ equivalentes emitidos na produção de 1m³ de painel de BCA e faz os cálculos de captura de carbono durante a fotossíntese pela cana-de-açúcar, alterando esse valor para - 364 kg de CO₂ equivalentes. Os artigos que utilizaram madeira não estudaram a captura de carbono.

A produção de painel de partículas com uso do BCA manifestou maior impacto para a CI de eutrofização (ET), 75% relacionado à produção do BCA e 24% relacionado a produção do painel⁽¹²⁾. Nesse estudo⁽¹²⁾, os principais impactos referentes a produção do bagaço de cana-de-açúcar estão relacionados a aplicação de químicos, como fertilizantes nitrogenados e processos de colheita, como o diesel utilizado. Na fase de produção do painel, os impactos foram principalmente atribuídos à produção da resina ureia-formaldeído e à combustão de óleo combustível pesado na planta industrial.

No estudo comparativo entre 1 m² de painel particulado de pinus e BCA, a única CI em que o painel BCA apresentou maiores impactos foi no consumo de energia na fase de aquisição de matéria-prima devido ao maior uso de energia para secagem do BCA e na moenda para transformação da



cana-de-açúcar em BCA⁽⁹⁾. Para todas as outras CI, os impactos referentes à produção do painel de partículas de pinus foram superiores.

Como apresentado na Tabela 1, para todas as principais CIs evidenciadas nos estudos relacionados ao uso do ACV em painéis particulados, os maiores *hotspots* estão relacionados às matérias-primas utilizadas, à cadeia de transporte das mesmas até a planta industrial e ao uso de adesivos baseados em formaldeído. As principais categorias de impacto citadas foram aquecimento global (AG), toxicidade humana (TH) e ecotoxicidade (EC).



5. CONCLUSÕES

Os painéis com menores impactos ambientais foram os que utilizaram BCA e os painéis de pinus e eucalipto apresentaram maiores impactos relacionados ao transporte da madeira e ao uso de adesivos que apresentam formaldeído em sua composição. Sugestões incluíram melhorias no sistema de transporte, por distâncias menores e eficiência no trajeto ou por uso de combustíveis que apresentem menores emissões, como biodiesel. O uso de aparas, madeira reciclada ou resíduos para substituição da madeira virgem também foi apresentado como recomendação.

O painel de BCA apresentou maiores impactos ambientais para eutrofização e consumo de energia, evidenciando a necessidade de melhorias de processos, desde redução no uso de agroquímicos para a produção da cana-de-açúcar até maior eficiência no uso da energia elétrica.

Ambos os estudos apresentaram altos impactos ambientais relacionados ao uso de adesivos com base em formaldeído, destacando a necessidade de estudos comparativos com diferentes resinas para produção dos painéis, com o intuito de utilizar a ACV como estratégia na escolha de matérias-primas que sejam um passo a mais em direção a uma economia sustentável.



6. REFERÊNCIAS

1. INDÚSTRIA BRASILEIRA DE PRODUTORES DE ÁRVORES - IBÁ. **Relatório anual 2017 ano base 2016**. Brasília: Disponível em: http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2017.pdf
2. NAKANISHI, E. Y. et al. Study of the production process of 3-layer sugarcane-bamboo-based particleboards. **Construction and Building Materials**, v. 183, p. 618-625, 2018.
3. BARRERO, N. M. G. **Estudo da durabilidade de painéis de partículas de bagaço de cana de açúcar e resina poliuretana a base de óleo de mamona para aplicação na construção civil**. 229 p. Tese (Doutorado). Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo. Pirassununga, 2015.
4. MENDES, R. F. et al. Use of Sugarcane Bagasse for Particleboard Production. **Key Engineering Materials**, v. 634, p. 163–171, 2014.
5. OLIVEIRA, S. L. et al. Material Laminar inclusion. **Cerne**, v. 23, n. 2, p. 153–160, 2017.
6. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, Rio de Janeiro. **NBR14810 – Painéis de partículas de média densidade. Parte 1: Terminologia**. Rio de Janeiro, 2013.
7. AMERICAN NATIONAL STANDARDS INSTITUTE. **ANSI A208.1**:. Gaithersburg, 1993.
8. EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EN 312**. Bruxelas, 1993.
9. SANTOS, M. F. N. et al. Comparative study of the life cycle assessment of particleboards made of residues from sugarcane bagasse (*Saccharum spp.*) and pine wood shavings (*Pinus elliottii*). **Journal of Cleaner Production**, v. 64, p. 345-355, 2014.
10. _____. **NBR ISO 14040 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida: princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009.
11. _____. **NBR ISO 14044 – Gestão ambiental – Avaliação de ciclo de vida: requisitos e orientações**. Rio de Janeiro, 2009.
12. SILVA, D. A. L. et al. Do wood-based panels made with agro-industrial residues provide environmentally benign alternatives? An LCA case study of sugarcane bagasse addition to particle board manufacturing. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 19, n. 10, p. 1767–1778, 2014.
13. RIVELA, B. et al. Life cycle inventory of particleboard: a case study in the wood sector (8 pp). **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 11, n. 2, p. 106-113, 2006.
14. KIM, M. H., SONG, H. B. Analysis of the global warming potential for wood waste recycling systems. **Journal of Cleaner Production**, v. 69, p. 199-207, 2014.
15. IRITANI, D. R. et al. Sustainable strategies analysis through Life Cycle Assessment: a case study in a furniture industry. **Journal of Cleaner Production**, v. 96, p. 308-318, 2015.
16. MEDEIROS, D. L. et al. Life cycle assessment in the furniture industry: the case study of an office cabinet. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 22, n. 11, p. 1823-1836, 2017.



17. HOSSAIN, M. U., POON, C. S. Comparative LCA of wood waste management strategies generated from building construction activities. **Journal of cleaner production**, v. 177, p. 387-397, 2018.
18. INSTITUTO BRASILEIRO DE INFORMAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA – IBICT. **Manual do Sistema ILCD: Sistema Internacional de Referência de dados do ciclo de vida de produtos e processos**. Brasília, 2014.
19. TODD, J. A.; CURAN, M. A. **Streamline life-cycle assessment**: a final report from the SETAC north America streamline LCA workgroup. Environmental Toxicology. Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) and SETAC Foundation for Environmental Education, 1999.
20. BUENO, C. **Avaliação de Ciclo de Vida na Construção Civil: Análise de Sensibilidade**. 266 p. Tese (Doutorado). Instituto de Arquitetura e Urbanismo, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.
21. NAKANO, K. et al. Life cycle assessment of wood-based boards produced in Japan and impact of formaldehyde emissions during the use stage. **The International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 23, n. 4, p. 957-969, 2018.
22. KOUCHAKI-PENCHAH, H. et al. Gate to gate life cycle assessment of flat pressed particleboard production in Islamic Republic of Iran. **Journal of cleaner production**, v. 112, p. 343-350, 2016.
23. GANNE-CHÉDEVILLE, C., DIEDERICHS, S. Potential environmental benefits of ultralight particleboards with biobased foam cores. **International Journal of Polymer Science**, v. 2015, 2015.