

BIOECONOMIA: RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS AGROINDUSTRIAIS PRÉ-TRATADOS POR BASIDIOMICETOS PARA NUTRIÇÃO ANIMAL

Félix Gonçalves de Siqueira¹; Ruben Dário Romero Pelaez¹; Carolyne Caetano Gonçalves²; Aparecido Almeida Conceição³; Agenor Fontoura Márquez¹; Simone Mendonça¹

1- Embrapa Agroenergia, Brasília, DF. E-mail: felix.siqueira@embrapa.br;

2 - Universidade de Brasília - UnB, Brasília, DF;

3- Universidade Federal da Bahia – UFBA, Vitória da Conquista, BA

ABSTRACT

The main role for bioeconomy is to direct all economy sectors to adopt sustainable activities, suppling the population need for the growing demand for organic and environmentally products using renewable biological resources. The large amount of residual vegetable biomass (BRVs) generated, mainly, in agribusiness becomes a rich raw material for this new model of economy, with potential for generation of several new products, such as production of animal feed, fungal enzymes, secondary metabolites with cosmetic applications, biological control, drugs, and human food. The Embrapa Agroenergia has direct its efforts for generation of these products employing biotechnological techniques with basidiomycetes, also called macrofungi. So, the solid-state fermentation method has enabled the use of the most diverse biomasses as substrate for these microorganisms, for example those from the oilseed crops destined to the production of biodiesel (palm oil, cottonseed, Jatropha, and macauba palm) as well as green coconut, sugar cane and corn. The macrofungi act as lignocellulosic biomasses transformation agents, allowing the possibility of using several BRVs due to its ability of growing in these substrates. The result of this fermentation process is the integration of the agroindustry, supplying BRVs, with several other different industrial sectors such as cosmetics, textile, pharmaceutical, food and animal feed, all included in the concept of bioeconomy.

INTRODUÇÃO

É crescente os grupos sociais que tem buscado melhorias nos alimentos e produtos provindos da agroindústria, principalmente aqueles com selo de orgânicos e ambientalmente corretos. Assim, as agroindústrias estão passando por um processo de transformação que busca atender as exigências deste setor. O processamento industrial das biomassas vegetais - destinadas à alimentação, papel, têxtil, biocombustíveis, entre outras atividades - gera vários tipos de biomassas vegetais residuais (BVRs), que por sua vez podem levar a

problemas ambientais, caso não sejam reaproveitados para novos produtos e subprodutos. Em virtude desta e de outras problemáticas o conceito de bioeconomia surge a fim de direcionar todos os setores da economia para atividades sustentáveis.

A bioeconomia pode ser definida como uma economia onde os blocos de construção para materiais, produtos químicos e energia são derivados de recursos biológicos renováveis (McCORMICK & KAUTTO, 2013). Nesta vertente, no ano de 2015 a União Europeia passou adotar medidas para fortalecer a Economia Circular, que orienta a criação de produtos inovadores, feitos de matérias-primas renováveis e projetados para serem reutilizados ou reciclados. A economia circular tem suas raízes na ecologia industrial, que enfatiza os benefícios da reciclagem de resíduos e subprodutos através, por exemplo, do desenvolvimento de interligações complexas, como as dos renomados projetos de simbiose industrial (SWINNEN e RIERA 2013). Em termos mais gerais, promove a minimização de recursos e a adoção de tecnologias mais limpas.

Alguns setores da agroindústria geram centenas de toneladas de resíduos lignocelulósicos que por vezes não são totalmente utilizados ou pouco reutilizados ou estão em fase de estudos, tais como: palma de óleo (cachos vazios e fibras de prensagem), coco verde (casca), algodão (beneficiamento da fibra e caroço), milho (sabugo e palhas), entre outras. Alguns destes materiais são utilizados de forma secundária, por exemplo, apenas na cobertura de solos, entretanto, com emprego da biotecnologia microbiana os mesmos resíduos podem ser destinados para obtenção de outros produtos ou subprodutos de maior valor agregado, como insumos para nutrição animal ou produção de biomoléculas. As BVRs, na maioria das vezes, não possuem estruturas químicas ou físicas que proporcionem seu uso direto. Assim, estas biomassas residuais têm sido objeto de pesquisas quanto a alternativas de pré-tratamentos físicos, químicos e biológicos, que possibilite seu uso na produção de biocombustíveis, por exemplo (KRISTIANI et al., 2015).

A parede celular maior constituinte das biomassas vegetais é formada, principalmente por três tipos de macromoléculas: celulose, hemicelulose e lignina. Estas se organizam formando uma malha de polímeros entrelaçados por ligações covalentes e interações não-covalentes. Neste contexto, surge a necessidade de utilização de métodos de pré-tratamento que possibilitem a desconstrução da celulose até monômeros de carboidratos, que poderão ser utilizados como precursores químicos para obtenção de diversos produtos de valor comercial, tais como etanol e ácidos orgânicos.

Dentre os métodos de pré-tratamentos biológicos de BVRs, o emprego de basidiomicetos (macrofungos que podem formar cogumelos), também conhecidos como fungos de podridão branca (White rot fungi - WRF); tem mostrado ser uma alternativa promissora devido a sua capacidade em desconstruir os componentes estruturais da parede celular vegetal. Estes macrofungos possuem um arcabouço de enzimas extracelulares que proporcionam esta desconstrução, tais como hidrolases (carboidrases) e oxidases (ligninases). Nos últimos anos o pré-tratamento de biomassas lignocelulósicas com macrofungos tem recebido destaque, principalmente pelo potencial de produção de etanol celulósico a partir de palhas de milho, trigo, arroz, entre outras potenciais biomassas (WAN; LI, 2012).

A nutrição de animais, principalmente ruminantes, com os BVRs pré-tratados com macrofungos tem surgido como uma alternativa interessante para um melhor aproveitamento destes resíduos. A composição da ração pode ser melhorada, pois os macrofungos são capazes de desconstruir as BVRs parcialmente em intervalo de tempo de 20 a 40 dias. No entanto, há obstáculos a serem vencidos para aplicação industrial, como por exemplo, a necessidade de esterilização de grande quantidade de matéria-prima antes da inoculação do macrofungo empregado no processo de fermentação. Assim, são necessários

equipamentos de grande porte bem como área disponível para a instalação dos mesmos, além da seleção de fungos que atendam os requisitos de um pré-tratamento eficiente.

Pesquisadores da Embrapa Agroenergia, Brasília (Distrito Federal) têm envidado esforços para possibilitar a viabilidade do processo de escalonamento da FES de diferentes formulações de BVRs, utilizando o acervo de mais 200 espécies de WRFs (Coleção de Microrganismos e Microalgas Aplicados a Biorrefinaria, da Embrapa Agroenergia). Os primeiros testes têm sido feitos utilizando as premissas da fungicultura, ou seja, gerar cogumelos comestíveis e depois reutilizar a biomassa pós-cultivo (inglês, *Spent Mushroom Substrate* – SMS) para nutrição animal. No momento, o volume de SMS gerado na fungicultura comercial brasileira não é o suficiente para atender a grande escala da indústria de ração animal, porém é possível a obtenção de bioativos microbianos, tais como beta-glucanas, enzimas, vitaminas, antioxidantes, pigmentos entre outros, que poderão ser utilizados como aditivos na nutrição animal ou outras áreas, como cosmetologia.

O conceito de biorrefinaria, ou seja, a obtenção de diversos produtos oriundos de biomassa vegetais têm norteado o trabalho destes pesquisadores, na busca de integrar cadeias produtivas, como a coconucultura, dendecultura, cotonocultura, por meio da FES das BVRs destas cadeias, como o setor de fungicultura, visam a obtenção de produtos biotecnológicos, com aplicação ao setor de nutrição animal.

BIORREFINARIA: USO SUSTENTÁVEL DA BIODIVERSIDADE E BIOECONOMIA

A definição de “bioeconomia” propõe uma melhor utilização dos recursos naturais em todos os setores da economia incluindo a agricultura e indústria para gerar produtos de origem biológica a preços acessíveis no mercado, e também, prezando pela redução de resíduos gerados durante os processos de produção (SILLANPÄÄ; NCIBI, 2017). A conversão de bioprodutos movimentam aproximadamente 2 trilhões de euros anualmente, sendo responsável também pela crescente inovação nas áreas de pesquisa em biotecnologia, robótica, entre outras (ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD), 2009).

O reaproveitamento de BVRs para a geração de bioprodutos é uma alternativa para reduzir e oferecer um destino mais ecológico a estes remanescentes que podem ser utilizados como matéria-prima pelas biorrefinarias (ALVIM et al., 2014). O conceito de “biorrefinaria” abrange indústrias capazes de converter biomassa, quase sempre proveniente de resíduos agroindustriais, em produtos químicos, biocombustíveis, rações animais, enzimas e até mesmo energia, sempre prezando pela sustentabilidade aplicada aos processos de fabricação até a geração do produto final (LAVIOLA; ALVES, 2011).

Assim, as biorrefinarias, além de solucionarem o problema de disposição final desses resíduos, que anteriormente eram depositados em aterros sanitários representando um risco ao meio ambiente, reduzem perdas significativas de biomassa com elevado potencial para a bioconversão em produtos com alto valor agregado (LAVIOLA; ALVES, 2011). Um dos tipos de fermentação amplamente utilizados pelas biorrefinarias para produção desses produtos é a FES, a qual é utilizada para a produção de alimentos de consumo humano e ração animal, uma vez que é capaz de ampliar o teor protéico desses alimentos (PINTO et al., 2005).

APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS DOS RESÍDUOS LIGNOCELULÓSICOS AGROINDUSTRIAIS

No Brasil algumas culturas agrícolas geram centenas de milhões de toneladas de BVRs que tem sido estudada como matéria-prima para obtenção de produtos biotecnológicos, desde nanofibras até ácidos orgânicos obtidos por processos fermentescíveis.

A FES destas biomassas por WRFs também estão sendo estudadas no contexto de biorrefinaria na Embrapa Agroenergia, com intuito de obter desde insumos para nutrição animal, enzimas fúngicas, metabólitos secundários com aplicações cosméticas, no controle biológico, fármacos, alimentação, entre muitos outros. As principais cadeias de produção estudadas pelo grupo de pesquisa da Embrapa Agroenergia e colaboradores estão relacionadas com a culturas de oleaginosas destinadas a produção de biodiesel (dendê, semente de algodão, pinhã-manso, macaúba) como também a coco verde, cana-de-açúcar, milho, entre outras, que possam ser utilizadas como base para compor os substratos balanceados adequado ao cultivo fúngico e obtenção das biomoléculas de interesse (metabólitos microbianos).

DENDÊ (PALMA DE ÓLEO)

O dendê ou palma de óleo (*Elaeis guineensis*) é uma das principais culturas agrícolas do mundo, devido à importância comercial dos óleos extraídos das amêndoas e mesocarpo dos frutos. Esta cultura é a base econômica de países como Nigéria, Malásia e Indonésia, mas também é um produto de grande relevância em países como Brasil e Colômbia (FERREIRA et al., 2012; OLAGUNJU, 2008; SUMATHI; CHAI; MOHAMED, 2008; SUSILA, 2004).

A agroindústria do dendê é caracterizada pela geração de grandes quantidades de coprodutos de natureza lignocelulósica. Estes coprodutos representam aproximadamente 90% de total das biomassas geradas desde a colheita nas plantações até a extração de óleos, representando um grande potencial para utilização em biorrefinaria (BASIRON, 2007; KURNIA et al., 2016).

Atualmente, os coprodutos da agroindústria de dendê são amplamente estudados para fins biotecnológicos e, geralmente, o tipo de resíduo vai determinar a aplicação mais conveniente para obtenção dos produtos de valor agregado. Entre os produtos com maior destaque obtidos em aplicações biotecnológicas dos resíduos do dendê estão os açúcares solúveis para os processos de fermentação (KAMOLDEEN et al., 2017; ZAKARIA et al., 2014), para obtenção de biocombustíveis como etanol e biogás (HOSSAIN; JALIL, 2015; RAZAK et al., 2012), produção de nanocristais (DASAN; BHAT; AHMAD, 2017; SHARIP et al., 2016), bioativos (DAL PRÁ et al., 2017) e insumos para ração animal, obtido por FES de macrofungos (MORAIS, 2016; RAHMAN et al., 2011).

NUTRIÇÃO ANIMAL E BIOTECNOLOGIA MICROBIANA

1. Nutrição animal de precisão

A ótima composição de elementos nutritivos na ração animal depende, principalmente, de quantidades consideráveis de energia metabolizável, proteínas ou aminoácidos digestíveis, vitaminas, minerais, gorduras e níveis mínimos de fatores antinutricionais. Em animais poligástricos ou ruminantes, o componente principal nas rações é a proteína bruta, enquanto aos monogástricos é fundamental a presença de aminoácidos essenciais como lisina, triptofano e treonina (FAO, 2012).

Muitos resíduos lignocelulósicos de algumas agroindústrias como trigo, arroz, cana de açúcar, soja, milho e dendê tem sido usados como suplemento na alimentação animal de ruminante, e, escassamente, de monogástricos. No entanto, o valor nutritivo é limitado devido aos baixos níveis de proteínas e aminoácidos disponíveis e digeríveis. No entanto, o uso de macrofungos como agentes transformadores da biomassa lignocelulósica tem demonstrado o incremento de proteína bruta e melhoria na digestibilidade das biomassas

lignocelulósicas para nutrição de monogástricos (SHRIVASTAVA et al., 2011; VAN DOAN et al., 2017; VAN KUIJK et al., 2015).

2. Enzimas microbianas e nutrição animal

Diversas espécies de fungos produzem uma mistura de enzimas que tem como função transformar materiais lignocelulósicos formados por grandes cadeias de polímeros recalcitrantes em monômeros simples como glicose, arabinose, xilose e derivados do fenol.

Estas enzimas se caracterizam por ter atividade hidrolíticas (e.g. glicosil hidrolases, esterases e lipases) ou oxirredutoras (LPMO, peroxidases, lacases). Este processo é comumente chamado "pré-tratamento biológico", sendo o princípio base para o uso de biomassa para a produção de biocombustíveis, químicos, ração animal e mediadores de biorremediação por microrganismos (SINDHU; BINOD; PANDEY, 2016). O pré-tratamento biológico é um processo de baixo impacto ambiental, caracterizado por o baixo requerimento energético e baixa liberação de tóxicos, o qual tem potencial para contribuir na redução de gases de efeito estufa e no estímulo das economias locais (CHAMBERGO; VALENCIA, 2016).

Os processos catalisados por enzimas fúngicas permitem a síntese de bioprodutos com vantagens sobre processos químicos, principalmente pela alta eficiência e especificidade, segurança, custo benefício e baixo impacto ambiental. Atualmente, os processos químicos estão sendo substituídos por enzimas de forma gradual, de acordo com desenvolvido de diversos métodos nas áreas da engenharia de proteínas e biologia sintética visando o melhoramento das propriedades enzimáticas ou a obtenção de novos tipos de enzimas (CHAMBERGO; VALENCIA, 2016).

Os macrofungos do tipo cogumelos comestíveis (fungicultura) são reconhecidos como importantes produtores de diversos tipos de enzimas tipicamente usadas nas indústrias de detergentes (proteases, celulasas, lipases e oxidoredutases), têxtil (lacases e celulasas), papel e polpa (celulasas e xilanases), tratamento de couro (proteases e lipases), preparação de alimentos (pectinases, celulasas, proteases e oxidoredutases) e ração animal (xilanases, proteases, celulasas e fitases) (CHATURVEDI; VERMA, 2013).

MACROFUNGOS E NUTRIÇÃO ANIMAL

1. Macrofungos: agentes transformadores de biomassas lignocelulósicas para nutrição de ruminantes e monogástricos

Os macrofungos são capazes de crescer em materiais lignocelulósicos. Na natureza, eles produzem complexos enzimáticos para degradar os constituintes vegetais assim incrementar a disponibilidade para ser assimilados via hifa e posteriormente distribuído dentro do organismo (DIGHTON, 2016).

Os constituintes vegetais degradados ou modificados são principalmente celulose, hemicelulose, lignina e pectina, mas também moléculas relacionadas com efeitos antinutricionais para ração animal. Adicionalmente, o metabolismo primário e secundário durante a fase de crescimento dos macrofungos também estão relacionados com a liberação de substâncias bioativas (DÍAZ-GODÍNEZ, 2015; SANCHEZ, 2017). Estas características incrementam o valor nutricional de derivados vegetais tratados com fungos para ração animal, especialmente aqueles que são incapazes de degradar naturalmente alguns constituintes vegetais. Este efeito é mais vantajoso em espécies monogástricas que em ruminantes.

Os ruminantes apresentam mecanismos de aproveitamento de materiais vegetais na alimentação por meio de simbiose com microrganismos (VAN KUIJK et al., 2015). Já em

monogástricos, o pré-tratamento prévio de lignocelulósica é imprescindível desde que carecem deste sistema de simbiose, e não podem degradar naturalmente a parede celular vegetal. O pré-tratamento biológico por fungos é uma alternativa potencial para melhorar o aproveitamento de biomassa vegetal tanto em ruminantes e monogástricos. Nos dois casos, já foi demonstrado incremento de digestibilidade, possivelmente relacionado com a redução da cristalinidade da celulose e a degradação de lignina, além do incremento de proteínas brutas, relacionado com os resíduos do micélio do fungo (CHEN; FAN; MENG, 2017; SHRIVASTAVA et al., 2011).

2. Macrofungos: agentes detoxificadores e degradadores de fatores antinutricionais de tortas oleaginosas

O pré-tratamento biológico de biomassa lignocelulósica por fungos é, em diversos casos, um processo secundário de práticas agrícolas como o cultivo de cogumelos (fungicultura). Neste caso, após a colheita dos corpos de frutificação (cogumelos), o material restante ou substratos colonizados apresentam as características-chaves do pré-tratamento biológico, como a redução de recalcitrância de celulose e a modificação de lignina por ação enzimática podendo ser utilizado na alimentação animal. A biomassa pós-colheita do cogumelo (BPC) ou spent mushroom substrate (SMS) em inglês, é uma mistura de biomassa vegetal parcialmente degradada (substratos lignocelulósicos utilizados como meio de cultura para os fungos) e biomassa microbiana (micélio fúngico).

Além das características relacionadas com o incremento da digestibilidade e o conteúdo de proteínas para monogástricos e ruminantes, o SMS também apresenta níveis consideráveis de redução de moléculas antinutricionais ou toxinas. Por exemplo, fitatos e taninos são moléculas antinutricionais que podem ser degradadas por ação enzimática de fitases e tanases, as quais têm sido detectadas em SMS dos fungos comerciais *Agaricus bisporus*, *Lentinula edodes*, *Pleurotus cornucopiae* e *Grifola frondosa* (COLLOPY; ROYSE, 2004). A degradação de saponinas, gossipol e ésteres de forbol foi demonstrada nos SMSs de fungos do gênero *Pleurotus* (CUNHA, 2017; DA LUZ et al., 2013; GOMES, 2015; GUPTA et al., 2013; RAJARATHNAM; SHASHIREKHA; BANO, 2001).

Tais características indicam que o tratamento fúngico de biomassas vegetais com conteúdo significativo de moléculas antinutricionais ou tóxicas pode tanto melhorar a qualidade dos materiais assim como incrementar o uso de suplemento na dieta sem prejudicar o desempenho de crescimento e desenvolvimento das espécies animais

3. Macrofungos: metabólitos secundários aplicados na nutrição e sanidade animal.

Os metabólitos primários dos macrofungos são moléculas essenciais para o desenvolvimento dos mesmos, tais como os polissacarídeos (β -glucanas), proteínas e complexos carboidrato/proteínas, os quais cumprem funções estruturais ou catalíticas. No entanto, durante situações de estresse os fungos são capazes de produzir substâncias bioativas que os protegem daquela situação adversa, os metabólitos secundários. Estas moléculas não são essenciais para o crescimento do fungo, por exemplo, fenóis, terpenóides e esteróides.

As propriedades medicinais encontradas em espécies comerciais de macrofungos que são usados na alimentação humana têm sido exploradas, indicando possíveis usos como antidiabéticos, antimicrobianos, antitumorais, anti-inflamatórios, moduladores do sistema imune e antioxidantes (SÁNCHEZ, 2017). Na maioria dos casos, o SMS retém as propriedades nutricionais e bioativas dos cogumelos dos macrofungos, e quando usado como suplemento em ração animal, tem sido demonstrado que há uma correlação positiva entre a presença de bioativos e o melhoramento de padrões importantes na criação dos animais monogástricos e ruminantes. Por exemplo, maior rendimento na produção de leite, ganho

de peso e melhores parâmetros hematológicos em gado (LIU et al., 2015), e melhor resposta antioxidante em aves (CHANG et al., 2016; WANG et al., 2017).

Usualmente, os substratos vegetais para o cultivo de macrofungos são resíduos de cadeias agroindustriais como o bagaço de cana, palha de milho e trigo ou fibras da extração de óleo de dendê. A alta disponibilidade destes materiais no Brasil, torna o processo de produção de fungos viável, principalmente pelo pouco investimento econômico na obtenção dos substratos.

BIOTECNOLOGIA DE MACROFUNGOS COMO AGENTE DE INTEGRAÇÃO ENTRE CADEIAS PRODUTIVAS

Uma das grandes oportunidades no uso de macrofungos nas biorrefinarias é a capacidade destes organismos crescerem nas biomassas vegetais. Desta forma, é possível obter um grande número de produtos de valor agregado, por exemplo, exopolissacarídeos, enzimas, substâncias bioativas, hormônios de crescimento vegetal e cogumelos comestíveis (MANAVALAN; MANAVALAN; HEESE, 2015; MARTINS et al., 2011).

A maioria das cadeias produtivas agroindustriais geram anualmente centenas de milhares de toneladas de BVRs que, geralmente, são descartadas de forma inapropriada ou passam por uma gestão inadequada. A produção de cogumelos comestíveis com a posterior utilização do SMS torna-se uma solução adequada para a destinação das BVRs, e gerando bioprodutos de valor agregado em toda cadeia produtiva, de forma sustentável no modelo de bioeconomia.

O esquema da biorrefinaria, visto como um processo cíclico com multiprodutos é uma alternativa que pode gerar grandes benefícios para distintas práticas agrícolas. Dentro deste esquema, podem ser incluídos modelos biológicos como os macrofungos como agentes catalisadores e transformadores dos BVRs. Por exemplo, a obtenção de óleos na agroindústria de dendê envolve várias etapas desde a colheita dos cachos até a clarificação dos óleos após prensagem (FIGURA 1). Durante processamento industrial, para cada quilograma de óleo de dendê extraído são gerados nove quilogramas de biomassa vegetal e efluentes líquidos (BASIRON; WENG, 2004; KURNIA et al., 2016). Estes resíduos podem ser tratados biologicamente por macrofungos (cogumelos comerciais) a fim de obter diversos tipos de produtos.

O cacho de frutos vazios de dendê já foram usados como substrato para o cultivo do macrofungo comercial *Pleurotus sajor-caju* em processo de FES (AWANG et al., 1993). Este processo permitiu a colheita de cogumelos comestíveis destinados para alimentação humana e, a modificação de características estruturais dos cachos vazios, tendo como resultado maior digestibilidade e conteúdo de proteínas disponíveis para uso como insumo para ração de alevinos de peixes (MORAIS, 2016). Com a tecnologia necessária e o uso de um mesmo resíduo vegetal, o processo também poderia permitir a extração de enzimas como peroxidases e proteases, usadas comumente nas indústrias alimentares e de biorremediação. (KUME et al., 1993; SEO; OH; LEE, 2013)

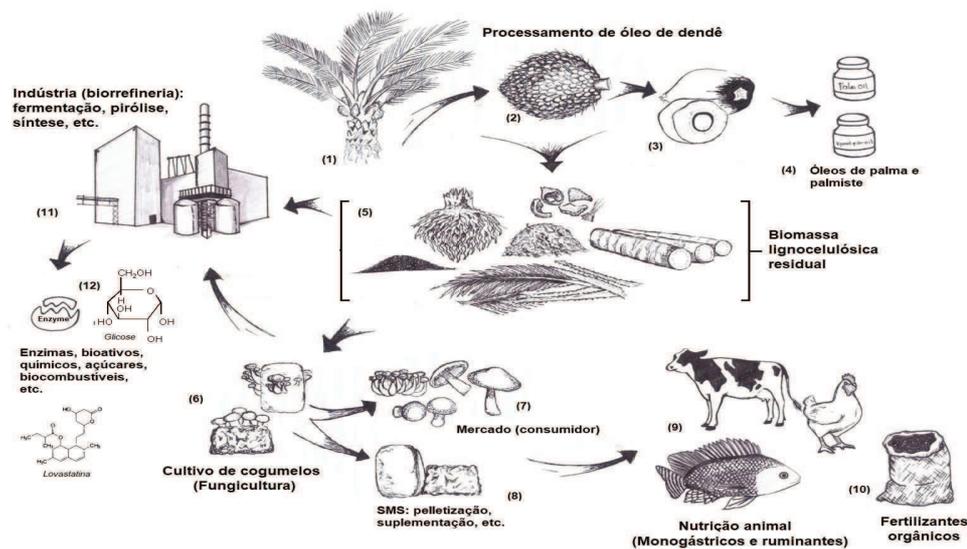


Figura 1. Agroindústria do dendê como modelo de biorrefinaria dentro do conceito de bioeconomia circular de modo a obter novos produtos e subprodutos das biomassas vegetais residuais (BVRs) do processamento e obtenção dos óleos de palma e palmiste. *Legenda:* 1) Planta de Palma de Óleo (dendzeiro); 2-3) Cacho e frutos do dendê; 4) Óleos de Palma (dendê) e Palmiste; 5) Biomassas Vegetais Residuais (BVRs) da cultura e processamento do dendê; 6) Cultivo de cogumelos comestíveis; 7) Cogumelos comestíveis; 8) SMS (spent mushroom substrate, inglês) ou SPC (substrato pós-colheita de cogumelos); 9) Nutrição animal; 10) Fertilizantes orgânicos; 11) Indústria ou Biorrefinaria ("Agroindústria do Dendê"); 12) Enzimas, bioativos, metabólicos secundários de macrofungos.

Recentemente, diversas empresas e centros de pesquisa de países da UE criaram o projeto FUNGUSCHAIN, visando o reaproveitamento dos SMS em processos integrados com agroindústrias para desenvolver produtos de alto valor como aditivos funcionais e biopolímeros. A maior meta deste consórcio é construir um novo esquema de biorrefinaria e modificar os procedimentos atuais nas indústrias. Estas iniciativas servem de incentivos para promover estratégias sustentáveis desde que os recursos naturais são limitados, a fim de diminuir o impacto ambiental da agricultura como principal causadora do desmatamento de florestas e diminuição da biodiversidade e, impulsionar o desenvolvimento de economias locais, na bioeconomia circular.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

É indiscutível a importância das espécies fúngicas para diversas aplicações industriais, como a produção de medicamentos e enzimas para serem utilizadas em processos fermentativos como as previstas nos modelos de biorrefinarias. Para tal, é necessário conhecer e identificar os organismos mais favoráveis à produção de compostos químicos e bioquímicos de interesse industrial. É necessário desenvolver novas tecnologias para que todo o potencial energético e econômico das biomassas provenientes de resíduos agroindustriais seja aproveitado, sempre levando em consideração os impactos ambientais, econômicos e sociais causados pelas atividades industriais relacionadas a utilização dessas fontes de carbono. Assim, é de fundamental importância avaliar todos os processos envolvidos

na conversão das biomassas e prezar pela sustentabilidade das cadeias produtivas. Assim, os macrofungos estão entre os organismos candidatos promissores, no modelo de bioeconomia, para promover o pré-tratamento que possibilite o aproveitamento de resíduos vegetais como insumos para nutrição animal.

REFERÊNCIAS

- ALVIM, J. C. et al. Biorrefinarias: Conceitos, classificação, matérias primas e produtos. **Journal of Bioenergy and Food Science**, v. 1, n. 3, p. 61–77, 2014.
- AWANG, M. R. et al. Radiation pasteurised oil palm empty fruit bunch fermented with *Pleurotus sajor-caju* as feed supplement to ruminants. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 42, n. 4, p. 611–616, 1993.
- BASIRON, Y. Palm oil production through sustainable plantations. **European Journal of Lipid Science and Technology**, v. 109, n. 4, p. 289–295, 2007.
- BASIRON, Y.; WENG, C. K. the Oil Palm and Its Sustainability the Oil Palm and Its Sustainability. **Journal of Oil Palm Research**, v. 16, n. 1, p. 1–10, 2004.
- CHAMBERGO, F. S.; VALENCIA, E. Y. Fungal biodiversity to biotechnology. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 100, n. 6, p. 2567–2577, 2016.
- CHANG, S.-C. et al. Effects of spent mushroom compost meal on growth performance and meat characteristic of grower geese. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 45, n. 6, p. 281–287, 2016.
- CHATURVEDI, V.; VERMA, P. An overview of key pretreatment processes employed for bioconversion of lignocellulosic biomass into biofuels and value added products. **3 Biotech**, v. 3, n. 5, p. 415–431, 5 out. 2013.
- CHEN, Y.; FAN, H.; MENG, F. *Pleurotus ostreatus* decreases cornstalk lignin content, potentially improving its suitability for animal feed. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 5, p. 1592–1598, 1 mar. 2017.
- COLLOPY, P. D.; ROYSE, D. J. Characterization of phytase activity from cultivated edible mushrooms and their production substrates. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 52, n. 25, p. 7518–7524, 2004.
- CUNHA, J. **Processo de destoxificação da torta da semente de *Jatropha curcas* L. (pinhão-mansão) utilizando enzimas extracelulares de macrofungos.** [s.l.] Universidade Federal de Lavras, 2017.
- DA LUZ, J. M. R. et al. Production of edible mushroom and degradation of antinutritional factors in *Jatropha* biodiesel residues. **LWT - Food Science and Technology**, v. 50, n. 2, p. 575–580, 2013.
- DAL PRÁ, V. et al. Ultrasound-assisted extraction of bioactive compounds from palm pressed fiber with high antioxidant and photoprotective activities. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 36, p. 362–366, maio 2017.

DASAN, Y. K.; BHAT, A. H.; AHMAD, F. Polymer blend of PLA/PHBV based bionanocomposites reinforced with nanocrystalline cellulose for potential application as packaging material. **Carbohydrate Polymers**, v. 157, p. 1323–1332, 10 fev. 2017.

DÍAZ-GODÍNEZ, G. Fungal bioactive compounds. In: **Biotechnology of Bioactive Compounds**. [s.l.] John Wiley & Sons, Ltd, 2015. p. 195–223.

DIGHTON, J. **Fungi in ecosystem processes**. [s.l.] CRC Press, 2016. v. 31

FAO. An outlook on world biofuel production and its implications for the animal feed industry. **Biofuel co-products as livestock feed**, n. December, 2012.

FERREIRA, C. B. B. et al. **Diversidade genética molecular de progênies de dendezeiro Pesquisa Agropecuária Brasileira** scielo , , 2012.

GOMES, T. G. **Degradação de ésteres de forbol da torta de pinhão manso por basidiomicetos e seu potencial como substrato para produção de enzimas de interesse industrial**. [s.l.] Universidade Federal do Tocantins, 2015.

GUPTA, A. et al. Yield and nutritional content of *Pleurotus sajor caju* on wheat straw supplemented with raw and detoxified mahua cake. **Food Chemistry**, v. 141, n. 4, p. 4231–4239, 2013.

HOSSAIN, N.; JALIL, R. **Sugar and Bioethanol Production from Oil Palm Trunk (OPT) Asia Pacific Journal of Energy and Environment**, 2015. Disponível em: <<http://journals.abc.us.org/index.php/apjee/article/view/727>>

KAMOLDEEN, A. A. et al. Enhanced ethanol production from mild alkali-treated oil-palm empty fruit bunches via co-fermentation of glucose and xylose. **Renewable Energy**, v. 107, p. 113–123, jul. 2017.

KRISTIANI, A. et al. Effect of Combining Chemical and Irradiation Pretreatment Process to Characteristic of Oil Palm's Empty Fruit Bunches as Raw Material for Second Generation Bioethanol. **Energy Procedia**, v. 68, p. 195–204, 2015.

KUME, T. et al. Utilization of agro-resources by radiation treatment -production of animal feed and mushroom from oil palm wastes. **Radiation Physics and Chemistry**, v. 42, n. 4, p. 727–730, 1993.

KURNIA, J. C. et al. Advances in biofuel production from oil palm and palm oil processing wastes: A review. **Biofuel Research Journal**, v. 3, n. 1, p. 332–346, 1 mar. 2016.

LAVIOLA, B. G.; ALVES, A. A. Matérias-primas oleaginosas para biorrefinarias. **Biorrefinarias: cenários e perspectivas, Brasília: Embrapa Agroenergia**, p. 29–43, 2011.

LIU, Y. et al. Effect of water extract from spent mushroom substrate after *Ganoderma bala-bacense* cultivation by using JUNCAO technique on production performance and hematology parameters of dairy cows. **Animal Science Journal**, v. 86, n. 9, p. 855–862, 2015.

MANAVALAN, T.; MANAVALAN, A.; HEESE, K. Characterization of Lignocellulolytic Enzymes from White-Rot Fungi. **Current Microbiology**, v. 70, n. 4, p. 485–498, 2015.

MARTINS, S. et al. Bioactive phenolic compounds: Production and extraction by solid-state fermentation. A review. **Biotechnology Advances**, v. 29, n. 3, p. 365–373, 2011.

MCCORMICK, K., KAUTTO, N. "The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, 5, 2589-2608." (2013) MCCORMICK, K.; KAUTTO, N. The Bioeconomy in Europe: An Overview. *Sustainability*, 5, 2589-2608. 2013.

MORAIS, K. **Subprodutos da agroindústria do óleo de palma (dendê) para cultivo de cogumelos comestíveis e nutrição de peixes.** [s.l.] Universidade Federal da Bahia, 2016.

OLAGUNJU, F. I. Economics of palm oil processing in Southwestern Nigeria. *International Journal of Agricultural Economics and Rural Development*, v. 1, n. 2, p. 69–77, 2008.

ORGANISATION FOR ECONOMIC CO-OPERATION AND DEVELOPMENT (OECD). **Eco-Innovation in Industry: Enabling Green Growth.** [s.l.: s.n.].

PHILP, J. Balancing the bioeconomy: supporting biofuels and bio-based materials in public policy. *Energy & Environmental Science*, v. 8, n. 11, p. 3063–3068, 2015.

PINTO, G. A. S. et al. Solid state fermentation: An alternative to reuse and valorization of tropical agroindustrial residues. *Embrapa Comunicado Técnico*, v. 102, p. 1–5, 2005.

RAHMAN, M. M. et al. Improving ruminal degradability of oil palm fronds using white rot fungi. *Animal Feed Science and Technology*, v. 169, n. 3–4, p. 157–166, 2011.

RAJARATHNAM, S.; SHASHIREKHA, M. N.; BANO, Z. Biodegradation of gossypol by the white oyster mushroom, *Pleurotus florida*, during culturing on rice straw growth substrate, supplemented with cottonseed powder. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, v. 17, n. 3, p. 221–227, 2001.

RAZAK, M. N. A. et al. Utilization of oil palm decanter cake for cellulase and polyoses production. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, v. 17, n. 3, p. 547–555, 2012.

SANCHEZ, C. Bioactives from mushroom and their application. In: PUBLISHING, S. I. (Ed.). *Food Bioactives.* [s.l.] Springer International Publishing, 2017. p. 23–57.

SÁNCHEZ, C. Bioactives from Mushroom and Their Application BT - Food Bioactives: Extraction and Biotechnology Applications. In: PURI, M. (Ed.). Cham: Springer International Publishing, 2017. p. 23–57.

SEO, Y.-J.; OH, D.-S.; LEE, J.-W. Study on the possibility of waste mushroom medium as a biomass resource for biorefinery. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, v. 19, n. 5, p. 1535–1539, 2013.

SHARIP, N. S. et al. Characterization and application of bioactive compounds in oil palm mesocarp fiber superheated steam condensate as an antifungal agent. *RSC Advances*, v. 6, n. 88, p. 84672–84683, 2016.

SHRIVASTAVA, B. et al. White-rot fungal conversion of wheat straw to energy rich cattle feed. *Biodegradation*, v. 22, n. 4, p. 823–831, 2011.

SILLANPÄÄ, M.; NCIBI, C. Bioeconomy: Multidimensional Impacts and Challenges. In: *A Sustainable Bioeconomy.* [s.l.] Springer, 2017. p. 317–343.

SINDHU, R.; BINOD, P.; PANDEY, A. Biological pretreatment of lignocellulosic biomass—an overview. *Bioresour Technol*, v. 199, 2016.

SUMATHI, S.; CHAI, S. P.; MOHAMED, A. R. Utilization of oil palm as a source of renewable energy in Malaysia. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 12, n. 9, p. 2404–2421, dez. 2008.

SUSILA, W. R. Contribution of oil palm industry to economic growth and poverty alleviation in Indonesia. **Jurnal Litbang Pertanian**, v. 23, n. 3, p. 107–114, 2004.

SWINNEN, J.; RIERA, O.. The global bioeconomy. **Agricultural Economics**, v. 44, n. s1, p. 1-5, 2013.

VAN DOAN, H. et al. Effects of *Cordyceps militaris* spent mushroom substrate on mucosal and serum immune parameters, disease resistance and growth performance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Fish & Shellfish immunology**, v. 67, p. 78–85, 2017.

VAN KUIJK, S. J. A. et al. Fungal treated lignocellulosic biomass as ruminant feed ingredient: A review. **Biotechnology Advances**, v. 33, n. 1, p. 191–202, 2015.

WAN, C.; LI, Y. Fungal pretreatment of lignocellulosic biomass. **Biotechnology Advances**, v. 30, n. 6, p. 1447–1457, 2012.

WANG, C. C. et al. Antioxidant molecular targets of wheat bran fermented by white rot fungi and its potential modulation of antioxidative status in broiler chickens. **British Poultry Science**, v. 58, n. 3, p. 262–271, 4 maio 2017.

ZAKARIA, M. R. et al. Ball milling pretreatment of oil palm biomass for enhancing enzymatic hydrolysis. **Appl Biochem Biotechnol**, v. 173, 2014.