

POTENCIAIS ALTERNATIVAS PARA REUTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS DA BANANICULTURA: UMA REVISÃO SISTEMÁTICA

POTENTIAL ALTERNATIVES FOR THE REUSE OF BANANA PRODUCTION RESIDUES: A SYSTEMATIC REVIEW

Nathan Roberto

Lohn Pereira 

Mestrando em Ciências Ambientais na Universidade do Sul de Santa Catarina (Unisul) – Palhoça (SC), Brasil.

Rachel Faverzani

Magnago 

Professora Doutora na Unisul – Palhoça (SC), Brasil.

Endereço para correspondência:

Nathan Roberto Lohn Pereira –
Rua Bertoldo Hames, 1.008 – Boa Parada – CEP: 88125-000 – São Pedro de Alcântara (UF), Brasil –
E-mail: lohnathan@gmail.com

Recebido em: 12/12/2019

Aceito em: 15/4/2020

RESUMO

A banana é a segunda fruta mais consumida no mundo. Seu cultivo produz grandes quantidades de resíduos lignocelulósicos, descartados majoritariamente de maneira inadequada. Muitas vezes esses resíduos são potenciais meios de proliferação de vetores, além de contribuir, mediante decomposição, para a geração de gases que ocasionam o efeito estufa. Assim, buscou-se identificar, por meio de uma pesquisa sistemática em bases de dados (Periódicos Capes, Science Direct e Springer Link), alternativas para a reutilização e consequente valorização desses resíduos. Propôs-se realizar uma análise temporal quantitativa e qualitativa dos artigos selecionados, identificando o número de publicações por ano e os periódicos em que foram publicados. Identificou-se crescente número de artigos publicados na última década, na maioria em periódicos de alto impacto (índice SCImago). Dessa forma, constatou-se que a produção de compósitos, biocombustíveis e compostos adsorventes são as principais alternativas para se atribuir maior valor agregado aos resíduos da bananicultura e, conseqüentemente, promover seu reaproveitamento.

Palavras-chave: cultivo de banana; biomassa; produção de compósitos; biocombustíveis; compostos adsorventes.

ABSTRACT

Banana is the second most consumed fruit in the world. Its cultivation produces large amounts of lignocellulosic residues, mostly discarded inappropriately. These residues are often potential means of vector proliferation, in addition to contributing, through decomposition, to the generation of greenhouse gases. Thus, we sought to identify through a systematic search in databases (Periódicos Capes, Science Direct, and Springer Link) alternatives for reuse and consequent recovery of these residues. It was proposed to perform a quantitative and qualitative temporal analysis of the selected articles, identifying the number of publications per year and the journals in which they were published. Thus, an increasing number of articles published in the last decade were identified, mostly in high impact journals (SCImago index). In this way, it was found that the production of composites, biofuels, and adsorbent compounds are the main alternatives for attributing greater added value to banana residues and, consequently, promoting their reuse.

Keywords: banana cultivation; biomass; production of composites; biofuels; adsorbent compounds.

INTRODUÇÃO

A banana (*Musa sp.*) é a segunda fruta mais consumida no mundo, representando 16% da produção mundial de frutas. A produção mundial anual é de 114 milhões de toneladas, concentrando-se em regiões de clima tropical e subtropical. É também a quarta cultura mais importante na agricultura, ficando atrás apenas das culturas de arroz, trigo e milho (FAO, 2018; PALACIOS *et al.*, 2017; PEREIRA; ANJOS; MAGNAGO, 2019).

A Índia é o maior produtor mundial de banana, com 28 milhões de toneladas cultivadas anualmente, seguido da China (≈ 13 milhões de toneladas), Filipinas (≈ nove milhões), Brasil (≈ sete milhões), Equador (≈ seis milhões) e Indonésia (≈ 5,5 milhões). Assim, a soma da produção de banana correspondente a Índia, China, Filipinas, Equador e Brasil representa mais da metade da produção mundial (PADAM *et al.*, 2014; FAO, 2018). Destaca-se também o cultivo em países africanos, como Angola (≈ três milhões), Burundi (≈ 2,4 milhões), Camarões (≈ 1,6 milhão), Quênia (≈ 1,4 milhão) e Uganda (≈ 0,6 milhão), onde a fruta representa, em alguns casos, uma das principais fontes nutricionais (VILJOEN *et al.*, 2004; PADAM *et al.*, 2014; FAO, 2018; EKESA *et al.*, 2019).

A banana apresenta elevado valor nutricional, sobretudo pela quantidade significativa de carboidratos (mais de 20% de sua composição). É rica em fibras e sais minerais, sendo uma das principais fontes de potássio, magnésio e fósforo da dieta humana. Também se destaca pelos baixos índices lipídicos (AURORE; PARFAIT; FAHRASMANE, 2009; LEOBET, 2016). A composição varia conforme a espécie da planta, a forma de cultivo, o tipo de solo, a temperatura, a sazonalidade das chuvas, entre outros fatores (LEOBET, 2016).

A produção de banana ocupa grandes extensões territoriais, das quais, somente no Brasil, são destinados mais de 500 mil hectares ao cultivo (COLTRO; KARASKI, 2019). No mundo, estima-se que, em 2017, 5,6 milhões de hectares de terra foram usados no plantio de banana; em 1993, eram 3,6 milhões de hectares e, em 2000, 4,6 milhões de hectares. Assim, identifica-se rápida expansão do cultivo de banana nas duas últimas décadas, sobretudo na China e na Índia, onde a área destinada ao plantio praticamente dobrou entre 2000 e 2017 (FAO, 2018).

Na maioria das plantações de banana, são as chuvas que fornecem a água requerida à manutenção das plantas, entretanto são cada vez mais frequentes os sistemas de irrigação, objetivando aumentar a produção e potencializar o plantio em áreas até então inadequadas (COLTRO; KARASKI, 2019; MWAURA; MUWANIKI, 2018; SANTOS *et al.*, 2019). Ressalta-se que as mudanças climáticas podem ocasionar variação na qualidade e na quantidade de frutas produzidas, uma vez que alterações de temperatura e de sazonalidade das chuvas e aumento na frequência de intempéries climáticas, como vendavais, furacões e tornados, podem influenciar no cultivo da banana (SABIITI *et al.*, 2017; SALVACION, 2019; SALVACION *et al.*, 2019).

A bananicultura é caracterizada pela geração de grande quantidade de resíduos orgânicos. Após o corte do cacho, o pseudocaule e as folhas da bananeira são geralmente cortados para facilitar o crescimento de uma nova matriz produtora (GUMISIRIZA *et al.*, 2017; PADAM *et al.*, 2014; YAHYA *et al.*, 2018). No Brasil, estima-se que 510 mil hectares de terras sejam destinados à bananicultura, com geração de 220 toneladas de resíduos por hectare plantado por safra, correspondendo à geração de mais de 100 milhões de toneladas por ano (COLTRO; KARASKI, 2019; INGALE; JOSHI; GUPTTE, 2014).

O pseudocaule e as folhas são em maioria abandonados nas próprias plantações, tornando-se meios de proliferação de vetores, como mosquitos e moscas. Além disso, seu processo de decomposição gera gases nocivos, como metano, amônia e peróxido de hidrogênio (GUERRERO; BALLESTEROS; BALLESTEROS, 2018; LI *et al.*, 2010; SANTA-MARIA *et al.*, 2013). Em determinadas regiões, sobretudo na Índia, grande parte desses resíduos é descartada em rios e lagos, ocasionando sérios problemas ambientais (INGALE; JOSHI; GUPTTE, 2014). Em decorrência desses problemas, ações que promovam o reaproveitamento dos resíduos da bananicultura são necessárias e iminentes.

Os resíduos da bananicultura são compostos majoritariamente dos polímeros celulose (≈ 35% em massa), hemicelulose (≈ 20% em massa) e lignina (≈ 10% em massa), sendo estes precursores de diversos materiais e produtos amplamente comercializados, como papel, biocombustíveis, membranas filtrantes, entre outros

(CORDEIRO *et al.*, 2004; YAHYA *et al.*, 2018). A celulose é um polímero natural de glicose. É o material orgânico mais abundante do planeta, com produção anual superior a 50 bilhões de toneladas. A estrutura da celulose apresenta regiões altamente ordenadas, estabilizadas por ligações de hidrogênio (OGATA, 2013; PEREIRA; ANJOS; MAGNAGO, 2019). A hemicelulose é composta de uma classe heterogênea de polissacarídeos de baixo peso molecular, como pentoses, hexoses e ácidos urônicos, atuando como um componente de ligação entre a lignina e a celulose (OGATA, 2013; PEREIRA; ANJOS;

MAGNAGO, 2019). A lignina é um polímero amorfo, muito complexo e ramificado, com estruturas aromáticas e alifáticas. As ligações éteres predominam na união entre as unidades da lignina, que apresenta um grande número de interligações.

Dessa forma, tendo em vista o potencial da biomassa lignocelulósica como matéria-prima na produção de materiais e os problemas provados pelo descarte inadequado desses resíduos, propôs-se investigar, mediante uma pesquisa sistemática, alternativas para reutilização e consequente valorização dos resíduos da bananicultura.

MATERIAIS E MÉTODOS

Buscou-se realizar uma revisão bibliográfica sistemática por meio de pesquisa em materiais bibliográficos nas bases de dados Science Direct, Portal de Periódicos da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes) e na plataforma da editora Springer, seguindo os critérios de seleção demonstrados na Figura 1. Propôs-se também realizar uma análise temporal quantitativa e qualitativa da literatura, identificando o número

de publicações por ano e os periódicos em que foram publicados. Para identificar o fator de impacto dos periódicos, optou-se por utilizar o índice de classificação do portal SCImago Journal & Country Rank, em que foram considerados periódicos de alto impacto aqueles com mais de 100 pontos, periódicos de médio impacto aqueles entre 51 e 100 pontos e de baixo impacto aqueles com 50 pontos ou menos.

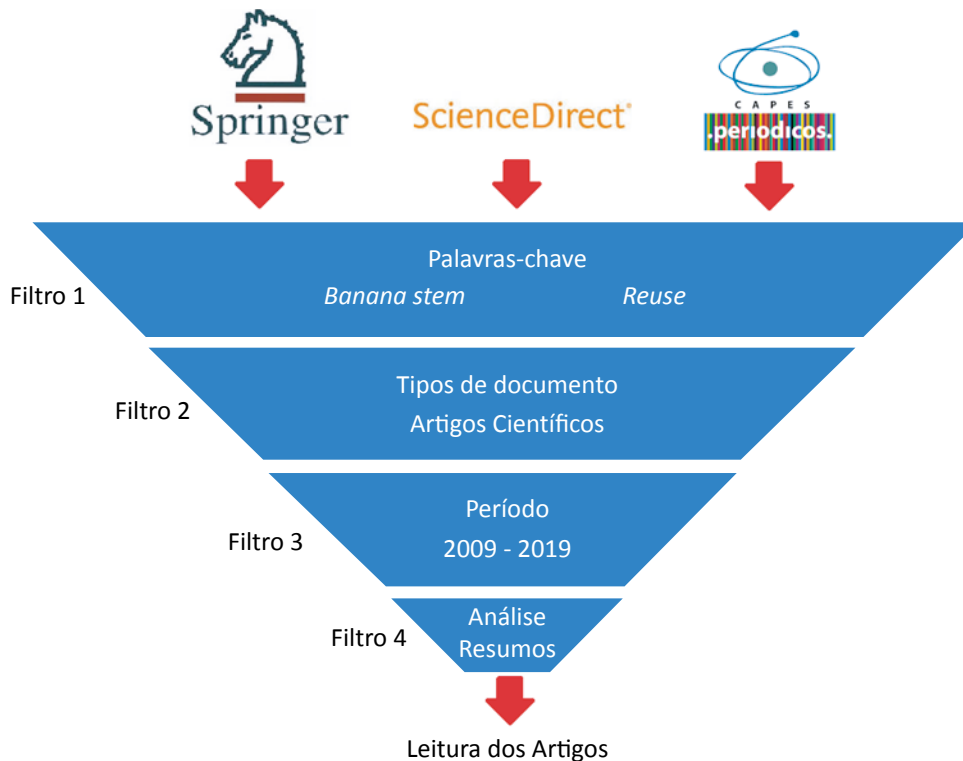


Figura 1 – Processo de seleção do material bibliográfico nas bases de dados.

Como pode ser observado na Figura 2, as palavras usadas na busca foram *Banana stem* e *Reuse*, empregando o operador *and* entre os termos. Na segunda etapa, os resultados das buscas foram filtrados em relação ao tipo de documento, sendo selecionados apenas artigos, tendo em vista que estes passam por um processo de revisão paritária. Em um terceiro momento, selecionaram-se os

artigos quanto ao período de publicação, de 2009 a 2019. A quarta etapa consistiu na análise do resumo dos artigos selecionados, identificando quais apresentavam relação com o objetivo da pesquisa, ou seja, aqueles que relatavam alternativas de valorização dos resíduos lignocelulósicos da bananicultura. A última etapa de seleção de materiais fundamentou-se na leitura e na análise dos artigos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa na base de dados Science Direct utilizando as palavras-chave *Banana stem* e *Reuse* apresentou 590 resultados, e no Periódicos Capes, 272 resultados. Na editora Springer, identificaram-se 1.397 resultados. Quando selecionados apenas artigos, foram 134 resultados na editora Springer, 331 no Science Direct e 251 no Periódicos Capes. Restringindo o período de publicação dos artigos para 2009-2019, exibiram-se 94 resultados na plataforma Springer, 266 no Science Direct e 212 no Periódicos Capes.

Na última etapa de seleção, que consistiu na análise do resumo dos artigos, extraíram-se 25 artigos da editora Springer, 60 do Science Direct e 38 do Periódicos Capes, totalizando 123 artigos resultantes da revisão bibliométrica, entretanto destaca-se que três dos artigos obtidos no Periódicos Capes eram da editora Springer, já identificados na revisão realizada na plataforma da editora, e 2 eram da editora Elsevier, já obtidos na busca na base Science Direct. Dessa forma, verificaram-se 118 artigos que mencionavam alternativas para a reutilização da biomassa da bananicultura, especialmente o pseudocaule.

Em relação à análise temporal dos últimos dez anos, constatou-se um crescente aumento de publicações sobre o tema (Figura 2).

Pode-se observar na Figura 2 que o ano de 2018 apresentou maior quantidade de artigos publicados (26), seguido de 2017 (18). Ressalta-se também 2019, que, até meados de junho, tinha 15 publicações acerca do assunto.

A classificação dos periódicos quanto ao índice do portal SCImago Journal & Country Rank é exibida na Tabela 1.

Totalizaram-se 69 artigos publicados em periódicos de alto impacto, 20 em periódicos de médio impacto e 29 em periódicos de baixo impacto. Assim, a ampla maioria dos artigos foi publicada em periódicos de alto impacto, destacando-se *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, com 14 publicações e impacto de 222 pontos, *Bioresource Technology*, com 10 artigos e impacto de 251 pontos, e *Carbohydrate Polymers*, com 8 publicações e impacto de 172 pontos. Dessa forma, reforça-se a

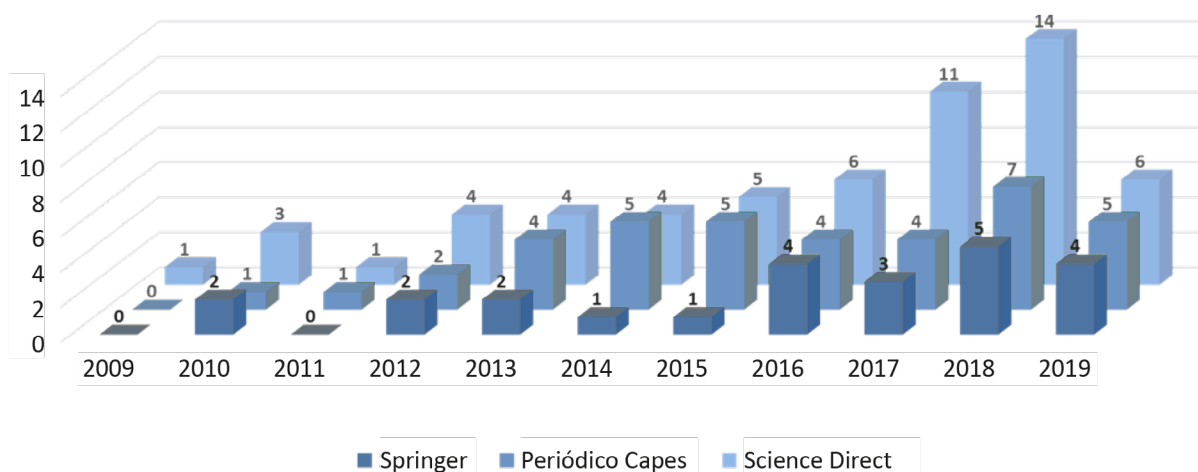


Figura 2 – Publicações por ano nas bases selecionadas.

significância das pesquisas sobre o assunto, sendo publicadas em revista científicas consolidadas.

Quanto às possibilidades de reutilização dos resíduos da bananicultura presentes nos artigos, os resultados estão na Figura 3. Assim, destaca-se o uso como material adsorvente (37 publicações), na síntese de biocom-

Materiais adsorventes

Os principais métodos para remoção de contaminantes das fases gasosa e aquosa são: tratamento biológico, floculação, separação por membrana, precipitação química e adsorção com carbono. Entre esses processos, a adsorção com carbono mostra-se muito eficaz na remoção de variados poluentes, no entanto o elevado custo desse método em larga escala levou a pesquisas com materiais

adsorventes (33 publicações) e como matéria-prima na fabricação de compósitos (32 publicações). Além disso, a produção de biofertilizantes, a alimentação de ruminantes, a exploração no artesanato e como material precursor na síntese de papéis condutores foram outras possibilidades para a valorização dos resíduos identificados na análise dos artigos.

adsorventes alternativos (ANASTOPOULOS *et al.*, 2019; DAI *et al.*, 2018; GEREMIAS *et al.*, 2012).

Resíduos agrícolas têm componentes com estruturas porosas, ramificadas, contendo carboxilas, hidroxilas e outros grupos reativos. Assim, esses materiais podem ser usados como adsorventes de poluentes, como metais pesados e agrotóxicos. Nos últimos anos, elevado número

Tabela 1 – Publicações por periódico e classificação de impacto.

Alto Impacto	Nº de publicações	Médio Impacto	Nº de publicações	Baixo Impacto	Nº de publicações
<i>Renewable and Sustainable Energy Reviews</i>	14	Environmental Science and Pollution Research	2	Bioresources and Bioprocessing	4
<i>Bioresource Technology</i>	10	Journal of Polymers and the Environment	2	Waste and Biomass Valorization	3
<i>Carbohydrate Polymers</i>	8	Journal of Molecular Liquids	2	Bioremediation Journal Environmental	2
<i>Journal of Cleaner Production</i>	5	Environmental Monitoring and Assessment	1	International Journal of Chemical Engineering	1
<i>Chemical Engineering Journal</i>	4	Biotechnology for Biofuels	1	Journal of Food Science and Technology	1
<i>International Journal of Biological Macromolecules</i>	3	Phytochemistry Reviews	1	Biofuels	1
<i>Journal of Environmental Management</i>	3	Materials	1	Soil	1
<i>Science of the Total Environment</i>	2	Radiation Physics and Chemistry	1	Textile Progress	1

Continua...

Tabela 1 – Continuação.

Alto Impacto	Nº de publicações	Médio Impacto	Nº de publicações	Baixo Impacto	Nº de publicações
<i>Chemosphere</i>	2	Polymer Reviews	1	Chemistry Letters	1
<i>Journal of Hazardous Materials</i>	2	International Biodeterioration and Biodegradation	1	3 Biotech	1
<i>Sensors and Actuators, B: Chemical</i>	2	Journal of Supercritical Fluids	1	Journal of Natural Fibers	1
<i>Progress in Energy and Combustion Science</i>	1	Water, Air, and Soil Pollution	1	Biocatalysis and Agricultural Biotechnology	1
<i>RSC Advances</i>	1	Reviews in Environmental Science and Bio/Technology	1	Sustainable Materials and Technologies	1
<i>Nanoscale</i>	1	International Journal of Life Cycle Assessment	1	Journal of Saudi Chemical Society	1
<i>Composites Part B: Engineering</i>	1	Cellulose	1	Journal of Environmental Chemical Engineering	1
<i>Composites Part A: Applied Science and Manufacturing</i>	1	Applied Biochemistry and Biotechnology	1	Materials Today: Proceedings	1
<i>Waste Management</i>	1	Agronomy for Sustainable Development	1	Procedia Economics and Finance	1
<i>Cement and Concrete Composites</i>	1			Environmental Technology and Innovation	1
<i>Progress in Polymer Science</i>	1			Environmental Processes	1
<i>Industrial Crops and Products</i>	1			Applied Biochemistry and Biotechnology	1
<i>Fuel</i>	1			AMB Express	1
<i>Colloids and Surfaces A: Phy. and Eng. Aspects</i>	1			International Journal of Plastics Technology	1
<i>Catalysis Letters</i>	1			Biomass Conversion and Biorefinery	1
Total	69	Total:	20	Total:	29

de pesquisas foi desenvolvido aproveitando os resíduos lignocelulósicos da bananicultura como biomassa adsorvente para o tratamento de poluentes (AKBAR *et al.*, 2019; BELLO *et al.*, 2018; DAI *et al.*, 2018; JAIN; MALIK; YADAV, 2016; MAHMOOD-UL-HASSAN *et al.*, 2015; NGUYEN *et al.*, 2013; SINGH *et al.*, 2018).

Efluentes da indústria têxtil e de impressão contendo grande quantidade de azul de metileno foram tratados com resíduos da bananicultura, sendo estes eficazes na remoção do poluente das águas (HAMEED; MAHMOUD; AHMAD, 2008; RAFATULLAH *et al.*, 2010). No trata-

mento de águas contaminadas com metais pesados, como chumbo, níquel, zinco e crômio, os resíduos agrícolas do cultivo de banana apresentaram capacidades iguais ou até maiores de adsorção em comparação com os adsorventes convencionais (ANASTOPOULOS *et al.*, 2019; BELLO *et al.*, 2018; KUMAR; MYLAPILLI; REDDY, 2019; LIU *et al.*, 2019; NGUYEN *et al.*, 2013). Na remoção do carbofurano (um dos pesticidas carbamatos mais tóxicos existentes) de águas contaminadas, a utilização do pseudocaule da bananeira combinado com carvão ativado mostrou-se como uma eficiente opção (AHMAD; DANISH, 2018).

Biocombustíveis

A fabricação de biocombustíveis, sobretudo bioetanol proveniente da biomassa lignocelulósica, tem-se destacado nas últimas décadas mediante pesquisas objetivando otimizar o processo de produção (SILVA *et al.*, 2005). Assim, a abundância de resíduos lignocelulósicos, como os derivados da bananicultura, e a busca por menor dependência de combustíveis fósseis têm aumentado o interesse na utilização da biomassa como matéria-prima para a produção de biocombustíveis (BHATIA; JOHRI; AHMAD, 2012; DAS; SARMAH; BHATTACHARYYA, 2015; KUMAR; SHARMA, 2017; OFORI-BOATENG; LEE, 2013; PADAM *et al.*, 2014).

O bioetanol, também chamado de etanol de segunda geração e etanol celulósico, é sintetizado majoritaria-

mente mediante hidrólise dos polímeros celulose e hemicelulose por ação de enzimas e/ou produtos químicos. Após a hidrólise, ocorre a fermentação alcoólica, por meio de reações catalisadas por enzimas produzidas por microrganismos anaeróbicos (BHATIA; JOHRI; AHMAD, 2012; LUN ONG *et al.*, 2018).

Dessa forma, a digestão anaeróbica da biomassa gerada na bananicultura é uma das alternativas com maior potencial para valorização desses resíduos, tendo em vista a eficiência do processo e a elevada demanda comercial pelos biocombustíveis sintetizados (GUERRERO; BALLESTEROS; BALLESTEROS, 2018; GUMISIRIZA *et al.*, 2017). A produção e o consumo de bioetanol em detrimento de derivados do petróleo

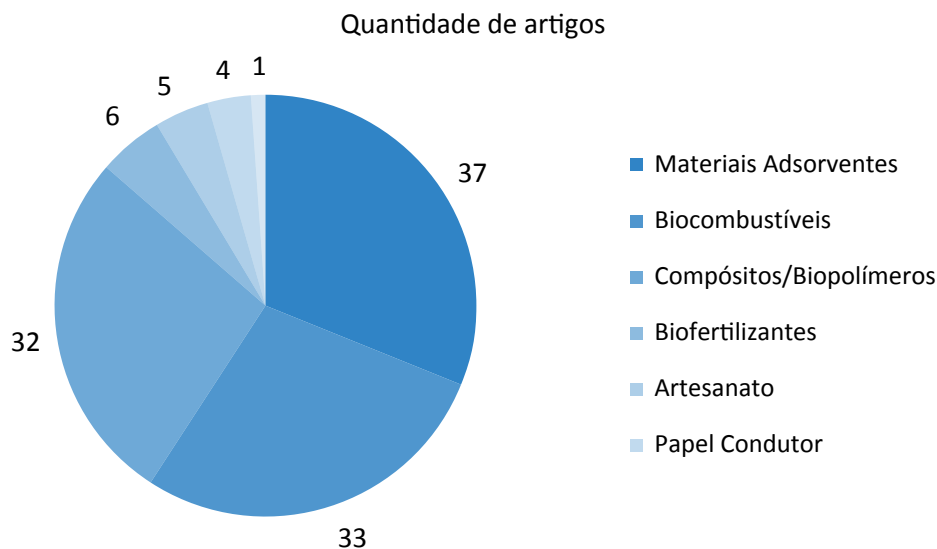


Figura 3 – Quantidade de publicações para cada alternativa de reuso identificada na análise bibliométrica.

pode contribuir significativamente para a redução da emissão atmosférica de dióxido de carbono e outros poluentes (INGALE; JOSHI; GUPTA, 2014).

Em relação aos avanços na otimização do processo de produção de biocombustíveis, destaca-se a utilização de culturas de cogumelo ostra (*Pleurotus ostreatus*) para produção de enzimas ligninolíticas, que atuam na degradação da lignina presente nos resíduos da ba-

Compósitos e biopolímeros

A utilização de compósitos poliméricos reforçados com fibras celulósicas oriundas de resíduos agrícolas tem ganhado notoriedade na indústria, sobretudo como substituinte da madeira maciça na construção civil. Além disso, tem sido usado em componentes automotivos, aeroespaciais e artigos esportivos. Isso se deve sobretudo a determinadas propriedades desses materiais, como elevada resistência mecânica, resistência à corrosão e pela densidade inferior a materiais similares (HAFSA *et al.*, 2016; VÄISÄNEN *et al.*, 2016).

Biofertilizantes

O aproveitamento dos resíduos da bananicultura na produção de biofertilizantes ganhou destaque nos últimos anos após pesquisas evidenciarem sua eficiência no aumento da germinação e na aceleração do crescimento de determinadas culturas de vegetais (HUSSEIN *et al.*, 2019; SADH; DUHAN; DUHAN, 2018). Assim, a síntese de biofertilizantes baseia-se na extração de nutrientes presentes na biomassa, especialmente da casca da banana, seguido do fornecimento desses fertilizantes às plantas em forma micro ou nano granulada (HUSSEIN *et al.*, 2019; PADAM *et al.*, 2014; SADH; DUHAN; DUHAN, 2018). Estudo feito por Hussein *et al.* (2019) objetivando produzir nanofertilizantes com base na casca da banana identificou que esta continha quantidades significativas

Alimento para ruminantes

Algumas pesquisas apresentam resultados promissores sobre a capacidade de conversão de resíduos da bananicultura, especialmente pseudocaule e cascas de banana, em alimentos para animais (ANGULO *et al.*, 2012a; PADAM *et al.*, 2014; SALEMDEEB *et al.*, 2017). Em estudos sobre o uso de restos de frutas, incluindo cascas de banana, na alimentação de vacas leiteiras,

facilitando assim a hidrólise da celulose e hemicelulose (THAKUR *et al.*, 2013). A utilização de leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae* tem-se acentuado no processo de fermentação alcoólica dos monossacarídeos oriundos da biomassa da bananicultura (sobretudo a glicose derivada da celulose), especialmente pelo elevado rendimento ($\approx 84\%$) na produção de bioetanol com base no hidrolisado celulósico (INGALE; JOSHI; GUPTA, 2014; THAKUR *et al.*, 2013).

Uma alternativa para a destinação desses resíduos é na síntese de biopolímeros, sobretudo de plásticos biodegradáveis. A utilização de resíduos da bananicultura, especialmente o pseudocaule, como matéria-prima na produção de biopolímeros é considerada uma possibilidade promissora em decorrência da abundância desse recurso e pelo potencial na substituição de polímeros derivados do petróleo, com destaque para a fabricação de embalagens (BRINCHI *et al.*, 2013; CORDEIRO *et al.*, 2012; KHALIL *et al.*, 2016; SANGO *et al.*, 2018).

de potássio quelado, ferro quelado, triptofano, ureia, aminoácidos, proteína e ácido cítrico, possibilitando um aumento na taxa de germinação de sementes de tomates em substratos que continham nanofertilizantes em relação a substratos sem nanofertilizantes.

O cultivo de banana em sistemas agroflorestais, a fim de aumentar a eficiência do uso da área e da água, vem ganhando notoriedade especialmente na agricultura familiar (DE PAULA *et al.*, 2015). Os resíduos da bananicultura nesses sistemas são empregados sobretudo como fonte de água (cerca de 90% da composição do pseudocaule da bananeira) e na adubação orgânica, sendo também uma alternativa promissora para a reutilização desses resíduos (VAN ASTEN *et al.*, 2011).

constatou-se que esses resíduos podem ser incluídos em proporções entre 6 e 18% da dieta do animal sem ocasionar alterações na quantidade e na qualidade do leite produzido (ANGULO *et al.*, 2012a; 2012b). Assim, a utilização da matéria-prima disponível, como resíduos de produção agrícola, pode reduzir a necessidade de aquisição de alimentos (rações e concentrados)

para os animais, barateando o processo e possibilitando uma destinação mais adequada dos resíduos (AN-

Papel condutor e artesanato

Estudos recentes apontam que a celulose presente em pseudocaules da bananeira pode ser associada a nanotubos de carbono de parede múltipla carboxilada mediante hidrólise ácida. Essa associação fornece um material com propriedades que possibilitam a construção de eletrodos flexíveis ideais para ancorar moléculas e partículas sensíveis em aplicações específicas,

GULO *et al.*, 2012a; PADAM *et al.*, 2014; SALEMDEEB *et al.*, 2017).

como biossensores ou dispositivos eletrônicos (MONDAL, 2017; NOREMBERG *et al.*, 2017).

Além disso, fibras das folhas e do pseudocaule da bananeira podem ser empregadas na elaboração de artefatos artesanais, como cestos, tapetes, cadeiras, além de servir como matéria-prima na construção de moradias para população de baixa renda (BARBOSA, 2014).

CONCLUSÕES

O cultivo de banana ocupa grandes extensões territoriais, demandando mundialmente mais de 5 milhões de hectares. A banana é a segunda fruta mais consumida no mundo, é uma importante fonte nutricional e, em determinadas regiões mais pobres e vulneráveis, essencial na manutenção da segurança alimentar. A bananicultura gera grande quantidade de resíduos lignocelulósicos, especialmente o pseudocaule e as folhas. Quando descartados inadequadamente, esses resíduos podem causar e/ou agravar problemas ambientais, como poluição de águas, emissão de gases nocivos e proliferação de vetores de doenças. Pesquisas vêm sendo desenvolvidas propondo o reaproveitamento desses resíduos.

A análise temporal quantitativa da bibliografia selecionada nas bases de dados evidenciou número crescente de publicações ao longo da última década que tratavam da reutilização dos resíduos da bananicultura, havendo

assim um aumento no interesse por essa temática por parte dos pesquisadores. A análise qualitativa revelou que a maioria dos estudos são publicados em periódicos científicos de alto impacto.

Entre as potenciais alternativas para reaproveitamento dos resíduos, as que apresentaram maior número de publicações foram as que tratavam da sua utilização como material adsorvente para remoção de contaminantes, na síntese de biocombustíveis e como matéria-prima para a produção de compósitos e biopolímeros. Também se identificaram estudos que propunham a utilização da biomassa gerada na bananicultura como alimento para ruminantes e na produção de biofertilizantes, materiais condutores e artefatos artesanais. Destaca-se que essas propostas se caracterizam como possíveis meios para atribuir maior valor agregado a esses resíduos e para, conseqüentemente, estimular seu reaproveitamento.

REFERÊNCIAS

- AHMAD, T.; DANISH, M. Prospects of banana waste utilization in wastewater treatment: A review. *Journal of Environmental Management*, v. 206, p. 330-348, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.061>
- AKBAR, N. A.; SABRI, S.; ABU BAKAR, A. A.; AZIZAN, N. S. Removal of colour using banana stem adsorbent in textile wastewater. *Journal of Physics: Conference Series*, v. 1.349, n. 1, p. 1-6, 2019. doi:10.1088/1742-6596/1349/1/012091
- ANASTOPOULOS, I.; ROBALDS, A.; TRAN, H. N.; MITROGIANNIS, D.; GIANNAKOUDAKIS, D. A.; HOSSEINE-BANDEGHARAEI, A.; DOTTO, G. L. Removal of heavy metals by leaves-derived biosorbents. *Environmental Chemistry Letters*, v. 17, p. 755-766, 2019.
- ANGULO, J.; MAHECHA, L.; YEPES, S. A.; YEPES, A. M.; BUSTAMANTE, G.; JARAMILLO, H.; VALENCIA, E.; VILLAMIL, T.; GALLO, J. Nutritional evaluation of fruit and vegetable waste as feedstuff for diets of lactating Holstein cows. *Journal of Environmental Management*, v. 95, supl., p. 210-214, 2012a. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.06.050>

- ANGULO, J.; MAHECHA, L.; YEPES, S. A.; YEPES, A. M.; BUSTAMANTE, G.; JARAMILLO, H.; VALENCIA, E.; VILLAMIL, T.; GALLO, J. Quantitative and nutritional characterization of fruit and vegetable waste from marketplace: A potential use as bovine feedstuff? *Journal of Environmental Management*, v. 95, p. 203-209, 2012b. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.022>
- AURORE, G.; PARFAIT, B.; FAHRASMANE, L. Bananas, raw materials for making processed food products. *Trends in Food Science & Technology*, v. 20, p. 78-91, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2008.10.003>
- BARBOSA, L. L. Capacity Building through Design Innovation with Vegetable Fibres for Temporary Shelters. *Procedia Economics and Finance*, v. 18, p. 230-237, 2014. [https://doi.org/10.1016/S2212-5671\(14\)00935-6](https://doi.org/10.1016/S2212-5671(14)00935-6)
- BELLO, K.; SAROJINI, B. K.; NARAYANA, B.; RAO, A.; BYRAPPA, K. A study on adsorption behavior of newly synthesized banana pseudo-stem derived superabsorbent hydrogels for cationic and anionic dye removal from effluents. *Carbohydrate Polymers*, v. 181, p. 605-615, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.11.106>
- BHATIA, L.; JOHRI, S.; AHMAD, R. An economic and ecological perspective of ethanol production from renewable agro waste : a review. *AMB Express*, v. 2, n. 1, p. 65, 2012. <https://doi.org/10.1186/2191-0855-2-65>
- BRINCHI, L.; COTANA, F.; FORTUNATI, E.; KENNY, J. M. Production of nanocrystalline cellulose from lignocellulosic biomass : Technology and applications. *Carbohydrate Polymers*, v. 94, n. 1, p. 154-169, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.01.033>
- COLTRO, L.; KARASKI, T. U. Environmental indicators of banana production in Brazil: Cavendish and Prata varieties. *Journal of Cleaner Production*, v. 207, p. 363-378, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.258>
- CORDEIRO, N.; BELGACEM, M. N.; TORRES, I. C.; MOURA, J. C. V. P. Chemical composition and pulping of banana pseudo-stems. *Industrial Crops and Products*, v. 19, n. 2, p. 147-154, 2004. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2003.09.001>
- CORDEIRO, N.; MENDONÇA, C.; POTHAN, L. A.; VARMA, A. Monitoring surface properties evolution of thermochemically modified cellulose nanofibres from banana pseudo-stem. *Carbohydrate Polymers*, v. 88, n. 1, p. 125-131, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2011.11.077>
- DAI, Y.; SUN, Q.; WANG, W.; LU, L.; LIU, M.; LI, J.; YANG, S.; SUN, Y.; ZHANG, K.; XU, J.; ZHENG, W.; HU, Z.; YANG, Y.; GAO, Y.; CHEN, Y.; ZHANG, X.; GAO, F.; ZHANG, Y. Utilizations of agricultural waste as adsorbent for the removal of contaminants: A review. *Chemosphere*, v. 211, p. 235-253, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.06.179>
- DAS, O.; SARMAH, A. K.; BHATTACHARYYA, D. A sustainable and resilient approach through biochar addition in wood polymer composites. *Science of the Total Environment*, v. 512-513, p. 326-336, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.01.063>
- DE PAULA, P. D.; CAMPELLO, E. F. C.; GUERRA, J. G. M.; SANTOS, G. A.; RESENDE, A. S. Decomposição das podas das leguminosas arbóreas *Gliricidia sepium* e *Acacia angustissima* em um sistema agroflorestral. *Ciência Florestal*, v. 25, n. 3, p. 791-800, 2015. <https://doi.org/10.5902/1980509819696>
- EKESA, B. Roots, Tubers and Bananas Contributions to Food Security Article. In: FERRANTI, P.; BERRY, E.; JOCK, A. (orgs.). *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. 2019. v. 3.
- FAO. *Banana facts and figures*. FAO: Italy, 2018. Disponível em: <http://www.fao.org/economic/est/est-commodities/bananas/bananafacts/en/#.XUDBptJKhdh>. Acesso em: 29 set. 2019.
- GEREMIAS, R.; LAUS, R.; FÁVERE, V.; PEDROSA, R. Adsorção de íons Cu (II), Mn (II), Zn (II) e Fe (III), utilizando rejeito de mineração de carvão como adsorvente. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 25, p. 48-59, 2012.

- GUERRERO, A. B.; BALLESTEROS, I.; BALLESTEROS, M. The potential of agricultural banana waste for bioethanol production. *Fuel*, v. 213, p. 176-185, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2017.10.105>
- GUMISIRIZA, R.; HAWUMBA, J. F.; OKURE, M.; HENSEL, O. Biomass waste-to-energy valorisation technologies: a review case for banana processing in Uganda. *Biotechnology for Biofuels*, v. 10, 2017. <https://doi.org/10.1186/s13068-016-0689-5>
- HAFSA, J.; SMACH, M. A.; KHEDHER, M. R. B.; CHARFEDDINE, B.; LIMEM, K.; MAJDOUB, H.; ROUATBI, S. Physical, antioxidant and antimicrobial properties of chitosan films containing Eucalyptus globulus essential oil. *LWT - Food Science and Technology*, v. 68, p. 356-364, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.050>
- HAMEED, B. H.; MAHMOUD, D. K.; AHMAD, A. L. Sorption equilibrium and kinetics of basic dye from aqueous solution using banana stalk waste. *Journal of Hazardous Materials*, v. 158, n. 2-3, p. 499-506, 2008. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.01.098>
- HUSSEIN, H. S.; SHAARAWY, H. H.; HUSSIEN, N. H.; HAWASH, S. I. Preparation of nano-fertilizer blend from banana peels. *Bulletin of the National Research Centre*, v. 43, 2019. <https://doi.org/10.1186/s42269-019-0058-1>
- INGALE, S.; JOSHI, S. J.; GUPTA, A. Production of bioethanol using agricultural waste : Banana pseudo stem. *Brazilian Journal of Microbiology*, v. 45, n. 3, p. 885-892, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1517-83822014000300018>
- JAIN, C. K.; MALIK, D. S.; YADAV, A. K. Applicability of plant based biosorbents in the removal of heavy metals: a review. *Environmental Processes*, v. 3, p. 495-523, 2016. <https://doi.org/10.1007/s40710-016-0143-5>
- KHALIL, H. P. S. A.; DAVOUDPOUR, Y.; SAURABH, C. K.; HOSSAIN, M. S.; ADNAN, A. S.; DUNGANI, R.; PARIDAH, M. T.; SARKER, I.; FAZITA, M. R. N.; SYAKIR, M. I.; HAAFIZ, M. K. M. A review on nanocellulosic fibres as new material for sustainable packaging : Process and applications. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 64, p. 823-836, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.06.072>
- KUMAR, A.; MYLAPILLI, S. V. P.; REDDY, S. N. Thermogravimetric and kinetic studies of metal (Ru/Fe) impregnated banana pseudo-stem (Musa acuminata). *Bioresource Technology*, v. 285, p. 121-132, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121318>
- KUMAR, A. K.; SHARMA, S. Recent updates on different methods of pretreatment of lignocellulosic feedstocks: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 4, n. 1, p. 7, 2017. <https://dx.doi.org/10.1186/s40643-017-0137-9>
- LEOBET, J. *Casca de banana (Musa cavendishii) como fonte de energia e caracterização do resíduo mineral fixo*. Dissertação (Mestrado em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- LI, K.; FU, S.; ZHAN, H.; ZHAN, Y.; LUCIA, L. A. Analysis of the chemical composition and morphological structure of banana pseudo-stem. *BioResources*, v. 5, n. 2, p. 576-585, 2010.
- LIU, Y.; GAO, Q.; PU, S.; WANG, H.; XIA, K.; HAN, B.; ZHOU, C. Carboxyl-functionalized lotus seedpod: A highly efficient and reusable agricultural waste-based adsorbent for removal of toxic Pb²⁺ ions from aqueous solution. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, v. 568, p. 391-401, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.02.017>
- LUN ONG, K.; KAUR, G.; PENSUPA, N.; UISAN, K.; LIN, C. S. K. Trends in food waste valorization for the production of chemicals, materials and fuels : Case study South and Southeast Asia. *Bioresource Technology*, v. 248, parte A, p. 100-112, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.076>
- MAHMOOD-UL-HASSAN, M.; SUTHOR, V.; RAFIQUE, E.; YASIN, M. Removal of Cd, Cr, and Pb from aqueous solution by unmodified and modified agricultural wastes. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 187, n. 2, p. 201-209, 2015. <https://doi.org/10.1007/s10661-014-4258-8>

- MONDAL, S. Preparation, properties and applications of nanocellulosic materials. *Carbohydrate Polymers*, v. 163, p. 301-316, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.12.050>
- MWAURA, F. M.; MUWANIKI, F. R. Providing irrigation water as a public utility to enhance agricultural productivity in Uganda. *Utilities Policy*, v. 55, p. 99-109, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2018.09.003>
- NGUYEN, T. A. H.; NGO, H. H.; GUO, W. S.; ZHANG, J.; LIANG, S.; YUE, Q. Y.; LI, Q.; NGUYEN, T. V. Applicability of agricultural waste and by-products for adsorptive removal of heavy metals from wastewater. *Bioresource Technology*, v. 148, p. 574-585, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2013.08.124>
- NOREMBERG, B. S.; SILVA, R. M.; PANIZ, O. G.; ALANO, J. H.; GONÇALVES, M. R. F.; WOLKE, S. I.; LABIDI, J.; VALENTINI, A.; CARREÑO, N. L. V. From banana stem to conductive paper: A capacitive electrode and gas sensor. *Sensors and Actuators, B: Chemical*, v. 240, p. 459-467, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2016.09.014>
- OFORI-BOATENG, C.; LEE, K. T. Comparative thermodynamic sustainability assessment of lignocellulosic pretreatment methods for bioethanol production via exergy analysis. *Chemical Engineering Journal*, v. 228, p. 162-171, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.04.082>
- OGATA, B. H. *Caracterização das frações celulose, hemicelulose e lignina de diferentes genótipos de cana-de-açúcar e potencial de uso em refinarias*. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia dos Alimentos) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.
- PADAM, B. S.; TIN, H. S.; CHYE, F. Y.; ABDULLAH, M. I. Banana by-products: an under-utilized renewable food biomass with great potential. *Journal of Food Science and Technology*, v. 51, n. 12, p. 3527-3545, 2014. <https://doi.org/10.1007/s13197-012-0861-2>
- PALACIOS, S.; RUIZ, H. A.; RAMOS-GONZALEZ, R.; MARTÍNEZ, J.; SEGURA, E.; AGUILAR, M.; AGUILERA, A.; MICHELENA, G.; AGUILAR, C.; ILYINA, A. Comparison of physicochemical pretreatments of banana peels for bioethanol production. *Food Science and Biotechnology*, v. 26, n. 4, p. 993-1001, 2017. <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs10068-017-0128-9>
- PEREIRA, N. R. L.; ANJOS, F. E.; MAGNAGO, R. F. Resíduos Lignocelulósicos da Bananicultura: Uma Revisão Sobre os Processos Químicos de Extração da Celulose. *Revista Virtual de Química*, v. 11, n. 4, p. 1165-1179, 2019.
- RAFATULLAH, M.; SULAIMAN, O.; HASHIM, R.; AHMAD, A. Adsorption of methylene blue on low-cost adsorbents: A review. *Journal of Hazardous Materials*, v. 177, n. 1-3, p. 70-80, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2009.12.047>
- SABIITI, G.; ININDA, J. M.; OGALLO, L. A.; OUMA, J.; ARTAN, G.; BASALIRWA, C.; OPIJAH, F.; NIMUSIIMA, A.; DDUMBA, S. D.; MWESIGWA, J. B.; OTIENO, G.; NANTEZA, J. Adapting Agriculture to Climate Change: Suitability of Banana Crop Production to Future Climate Change Over Uganda. In: LEAL FILHO, W.; NALAU, J. (eds.). *Limits to Climate Change Adaptation*. Springer, 2017. v. 1. p. 175-190.
- SADH, P. K.; DUHAN, S.; DUHAN, J. S. Agro-industrial wastes and their utilization using solid state fermentation: a review. *Bioresources and Bioprocessing*, v. 5, 2018. <https://doi.org/10.1186/s40643-017-0187-z>
- SALEMDEEB, R.; ERMGASSEN, E. K. H.; KIM, M. H.; BALMFORD, A.; AL-TABBAA, A. Environmental and health impacts of using food waste as animal feed: a comparative analysis of food waste management options. *Journal of Cleaner Production*, v. 140, parte 2, p. 871-880, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.05.049>
- SALVACION, A. R. Effect of climate on provincial-level banana yield in the Philippines. *Information Processing in Agriculture*, v. 7, n. 1, p. 50-57, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.inpa.2019.05.005>
- SALVACION, A. R.; CUMAGUN, C. J. R.; PANGGA, I. B.; MAGCALE-MACANDOG, D. B.; CRUZ, P. C. S.; SALUDES, R. B.; SOLPOT, T. C.; AGUILAR, E. A. Banana suitability and Fusarium wilt distribution in the Philippines under climate change. *Spatial Information Research*, v. 27, n. 3, p. 339-349, 2019. <https://doi.org/10.1007/s41324-019-00239-3>

- SANGO, T.; YONA, A. M. C.; DUCHATEL, L.; MARIN, A.; NDIKONTAR, M. K.; JOLY, N.; LEFEBVRE, J.-M. Step – wise multi – scale deconstruction of banana pseudo – stem (*Musa acuminata*) biomass and morpho – mechanical characterization of extracted long fi bres for sustainable applications. *Industrial Crops & Products*, v. 122, p. 657-668, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.06.050>
- SANTA-MARIA, M.; RUIZ-COLORADO, A. A.; CRUZ, G.; JEOH, T. Assessing the Feasibility of Biofuel Production from Lignocellulosic Banana Waste in Rural Agricultural Communities in Peru and Colombia. *Bioenergy Research*, v. 6, p. 1000-1011, 2013. <https://doi.org/10.1007/s12155-013-9333-4>
- SANTOS, M. R.; DONATO, S. L. R.; MAGALHÃES, D. B.; COTRIM, M. P. Precocity, yield and water-use efficiency of banana plants under planting densities and irrigation depths, in semiarid region. *Pesquisa Agropecuária Tropical*, v. 49, p. 1-10, 2019. <http://dx.doi.org/10.1590/1983-40632019v49s3036>
- SILVA, C.; GARRAFA, M.; NAVERENHO, P.; GADO, R.; YOSHIMA, S. A biomassa como alternativa energética para o Brasil. *Revista Brasileira de Ciências Ambientais*, n. 2, p. 25-36, 2005.
- SINGH, N. B.; NAGPAL, G.; AGRAWAL, S.; RACHNA. Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology and Innovation*, v. 11, p. 187-240, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>
- THAKUR, S.; SHRIVASTAVA, B.; INGALE, S.; KUHAD, R. C.; GUPTA, A. Degradation and selective ligninolysis of wheat straw and banana stem for an efficient bioethanol production using fungal and chemical pretreatment. *3 Biotech*, v. 3, n. 5, p. 365-372, 2013. <https://dx.doi.org/10.1007%2Fs13205-012-0102-4>
- VÄISÄNEN, T.; HAAPALA, A.; LAPPALAINEN, R.; TOMPPU, L. Utilization of agricultural and forest industry waste and residues in natural fiber-polymer composites : A review. *Waste Management*, v. 54, p. 62-73, 2016. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.04.037>
- VAN ASTEN, P. J. A.; WAIREGI, L. W. I.; MUKASA, D.; URINGI, N. O. Agronomic and economic benefits of coffee-banana intercropping in Uganda’s smallholder farming systems. *Agricultural Systems*, v. 104, n. 4, p. 326-334, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2010.12.004>
- VILJOEN, A.; KUNERT, K.; KIGGUNDU, A.; ESCALANT, J. V.; BORNMAN, C. H. Biotechnology for sustainable banana and plantain production in Africa: The South African contribution. *South African Journal of Botany*, v. 70, n. 1, p. 67-74, 2004. [https://doi.org/10.1016/S0254-6299\(15\)30308-2](https://doi.org/10.1016/S0254-6299(15)30308-2)
- YAHYA, M.; CHEN, Y. W.; LEE, H. V.; HASSAN, W. H. W. Reuse of Selected Lignocellulosic and Processed Biomasses as Sustainable Sources for the Fabrication of Nanocellulose via Ni(II)-Catalyzed Hydrolysis Approach: A Comparative Study. *Journal of Polymers and the Environment*, v. 26, p. 2825-2844, 2018. <https://doi.org/10.1007/s10924-017-1167-2>

