

APLICAÇÕES BIOTECNOLÓGICAS NA ÁREA FLORESTAL

BIOTECHNOLOGICAL APPLICATIONS IN THE FORESTRY AREA

Paula Luize Lessmann¹, Angela Cristina Ikeda², Giovana Bomfim de Alcantara³

¹Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – paulallessmann@gmail.com

²Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – aikeda@ufpr.br

³Universidade Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil – giobomfim@ufpr.br

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo analisar os trabalhos que foram publicados envolvendo espécies florestais com o uso de ferramentas biotecnológicas, e realizar uma pesquisa a fim de compreender se as empresas brasileiras de base florestal fazem uso da biotecnologia. A primeira etapa da pesquisa foi realizada na base de dados do *Web of Science* com as palavras-chave *biotechnologies* e *forest*, operador booleano *and*, no período entre 2011 e 2021, e as palavras-chaves selecionadas como “tópicos”. Para realizar a segunda etapa do trabalho (pesquisa), foram elaboradas 15 questões no *Google Forms*. O questionário contém perguntas relacionadas a biotecnologia florestal e como ela se encontra dentro de empresas de base florestal no Brasil. A maior parte das publicações sobre biotecnologia florestal entre os anos de 2011 e 2021 foram com temas envolvendo cultura de tecidos, marcadores moleculares e transgenia. Os anos com maior quantidade de trabalhos publicados foram 2018, 2019, 2020 e 2021 com predominância de documentos no formato de artigo. O formulário do questionário foi enviado para 20 empresas, e houve dez retornos das empresas consultadas. A maioria das empresas de base florestal desejam ou já implementam algumas das técnicas de biotecnologia florestal. Muitas delas gostariam de melhorar ainda mais as que já estão sendo utilizadas, pois percebem que os estudos realizados, sejam pela própria empresa ou por universidade e outras entidades, são promissores e podem trazer benefícios.

PALAVRAS-CHAVE: Base de dados, Biotecnologia florestal, Pesquisa.

ABSTRACT

The present work aims to analyze the works published involving forest species using the biotechnological tool, and to carry out research to understand whether Brazilian forest-based companies use biotechnology. The first part of the research was carried out in the *Web of Science* database with the keywords “biotechnologies” and “forest”, boolean operator “and”, in the period between 2011 and 2021, and the keywords selected as “topics”. To carry out the second part of the work (research), 15 questions were created using *Google Forms*. The survey contains questions related to forest biotechnology and how it is developed within forest-based companies in Brazil. Most of the works about forest biotechnology found between 2011 and 2021 involved topics involving tissue culture, molecular markers, and transgenics. The years with the highest number of published works were 2018, 2019, 2020, and 2021, with a predominance of documents in article format. The questionnaire form was sent, and there were ten responses from the companies consulted. Most forest-based companies want or already implemented some of the forest biotechnology techniques or would like to improve further those already being used, as they perceive that the studies carried out, either by the company itself or by universities and other entities, are promising and can bring benefits.

KEYWORDS: Database, Forest biotechnology, Search.

INTRODUÇÃO

O resultado da integração das ciências da vida e da engenharia de forma a conseguir a aplicação de células, organismos e entre outros, no desenvolvimento de produtos melhorados e serviços é denominada de biotecnologia. É a área de conhecimento no qual várias disciplinas das ciências e da engenharia convergem para construir novos saberes e práticas (LIMA & MOTA, 2003). A biotecnologia é utilizada há milhares de anos no mundo, contribuindo em diversas áreas, como da saúde humana, com biofármacos, imunobiológicos, reagentes biológicos para diagnósticos e hemoderivados. Na área agrícola, com propagação de espécies, cultura de tecidos, controle biológicos de pragas, fixação biológica de nitrogênio, estudo da engenharia genética entre outros. Na área florestal, tem aspectos semelhantes ao da área agrícola, porém com maior enfoque na silvicultura de espécies exóticas (eucalipto, pinus, teca e outras espécies), assim como na silvicultura de espécies nativas.

A biotecnologia tem contribuído no aumento da produtividade dos povoamentos de florestas plantadas. É importante selecionar espécies e clones adequados para cada região, priorizando materiais genéticos superiores e aprimorar técnicas para produção e propagação de mudas. Assim, é possível realizar o plantio de mudas explorando ao máximo a adaptabilidade do material genético selecionado a partir de um bom manejo durante o crescimento. Em uma floresta nativa, é possível utilizar a biotecnologia para: a) identificação botânica das espécies arbóreas, proporcionando uma maior descoberta e catalogação das espécies existentes, facilitando a conservação genética *ex situ* (bancos de germoplasma) e *in situ* (campo); b) monitoramento de pragas e doenças florestais por meio de marcadores moleculares, além de permitir a análise de diversidade genética das espécies florestais. Algumas das técnicas biotecnológicas utilizadas em espécies florestais são: cultura de tecidos, transgenia, marcadores moleculares, CRISPR-Cas 9 e *barcode* (AMABILE et al., 2018; COSTA et al., 2012; ARNEMANN, 2015; ALVES, 2013; MOLINARI et al., 2020; GONSAGA et al., 2016).

Este trabalho tem como objetivo: I - analisar o quantitativo de trabalhos publicados na base de dados *Web of Science* sobre biotecnologia florestal, e relacioná-los em quais áreas estes trabalhos se enquadram; II - realizar uma pesquisa com as empresas florestais no Brasil a fim de entender como a biotecnologia está

inserida na pesquisa e nas atividades práticas dessas empresas, bem como verificar se os resultados desta ferramenta são positivos na melhoria da produtividade e da qualidade dos produtos. Com esses dados, pretende-se demonstrar o panorama geral sobre a biotecnologia florestal no Brasil.

MATERIAL E MÉTODOS

Pesquisa na base de dados

O levantamento bibliográfico foi realizado por meio da base de dados *Web of Science*. Para fins práticos, foram consideradas as publicações realizadas em um intervalo de 10 anos, e selecionados os documentos publicados entre os anos de 2011 a 2021. A primeira abordagem da busca foi por meio da definição das palavras chaves (*keywords*) para o trabalho: *biotechnologies* e *forest*. Foi utilizado o operador booleano *and*, o qual busca documentos que possuem os dois termos de pesquisa de forma simultânea. Além disso, foram consideradas as palavras chaves contidas nos “tópicos” da publicação, ou seja, busca baseada nos termos presentes no título, resumo, palavras-chave do autor ou *Keywords Plus*.

A busca por meio dessa primeira abordagem gerou documentos da principal coleção do *Web of Science* que foram separados em 17 categorias para criação de gráficos. Também foram separadas as quantidades de documentos publicados por ano, por tipo de documento e quais foram as organizações que os publicaram.

Questionário sobre biotecnologia

Para entender como a biotecnologia está inserida na pesquisa e nas atividades das empresas do setor florestal, foi elaborado um questionário semiestruturado com um total de 15 perguntas. As questões foram inseridas no formulário eletrônico *Google Forms* e o *link* para acesso ao questionário foi enviado diretamente para o responsável da área de Biotecnologia Florestal das empresas (Tabela 1).

Tabela 1. Questionário sobre biotecnologia florestal elaborado em janeiro de 2022 para ser enviado às empresas de base florestal.

1) A empresa utiliza a biotecnologia para melhorar o rendimento e produtividade das	a) () sim b) () não
---	--------------------------

florestas?	
2) A empresa utiliza a biotecnologia florestal nas áreas de floresta nativa?	a) () sim b) () não
3) A empresa faz uso de quais processos da biotecnologia florestal?	a) () Cultura de tecidos b) () Transgênicos c) () Marcadores moleculares d) () Poliploidia e) () CRISPR-Cas 9 f) () Barcode g) () Outra. Qual? _____
4) Qual(is) espécie(s) a empresa trabalha com a biotecnologia?	Resposta aberta
5) Há quanto tempo aproximadamente a empresa faz uso da biotecnologia florestal? Houve alguma dificuldade inicial na implantação da mesma?	Resposta aberta
6) Houve uma melhora significativa na produção e rendimento do povoamento nesse tempo comparado com a época em que não havia a biotecnologia florestal?	a) () sim b) () não c) A empresa não faz uso de biotecnologia
7) A biotecnologia florestal trouxe melhoras econômicas para a empresa?	a) () sim b) () não c) A empresa não faz uso de biotecnologia
8) A empresa possui estrutura própria para o desenvolvimento da biotecnologia florestal?	a) () sim b) () não c) A empresa não faz uso de biotecnologia
8.1) Se não possui estrutura própria, a empresa faz uma parceria ou terceiriza?	a) Parceria b) Terceirização c) Ambos
8.2) Neste caso, seria com uma outra empresa, universidade, centro de pesquisa?	a) Empresa b) Universidade c) Centro de Pesquisa d) Outro. Qual? ____
9) A empresa possui algum produto patenteado com o auxílio da biotecnologia florestal?	a) () sim b) () não c) A empresa não faz uso de biotecnologia
9.1) Qual a finalidade deste(s) produto(s)?	Resposta aberta
10) Quantos colaboradores dentro da empresa trabalham com	Resposta aberta

a biotecnologia florestal? Isto é, que estão formalmente dentro da equipe de pesquisa?	
11) Quais são as perspectivas futuras desta área na empresa?	Resposta aberta

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Diante dos critérios de busca adotados, as categorias com maior quantidade de trabalhos publicados foram: “Biotecnologia aplicada à microbiologia” com 65 publicações, seguida de “Florestas” com 62, “Ciência de plantas” com 41 e “Bioquímica Biologia Molecular” com 32. Nas outras categorias foram notadas igual ou menos que 20 publicações, diminuindo cada vez mais até chegar em uma publicação por categoria (Figura 1). Dentre as três primeiras categorias foram encontrados 29 documentos sobre cultura de tecido; 24 sobre transgenia; oito sobre marcadores moleculares; 12 sobre melhoramento genético clássico; 10 sobre estudos genéticos, três sobre CRISPR-Cas 9 e um sobre poliploidia.

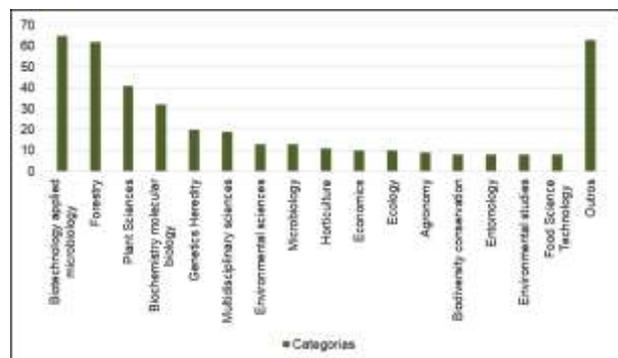


Figura 1. Quantidade de documentos separados em diferentes áreas (categorias) publicados no *Web of Science* entre os anos de 2011 a 2021.

Quando considerado o número de trabalhos publicados no intervalo de tempo definido no presente estudo, observou-se que de 2011 até 2017 o número de trabalhos publicados anualmente raramente ultrapassa de 20 (Figura 2). No entanto, após o ano de 2017 notou-se o crescimento no número de publicações. Como pode ser observado na Figura 2, em 2018 foram catalogados 34 documentos, passando para 39 em 2019, em 2020 foram realizadas 43 publicações e em 2021 alcançou-se o patamar de 52 publicações.

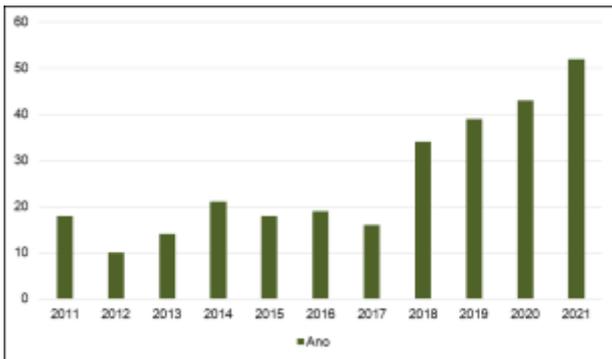


Figura 2. Quantidade de documentos publicados no *Web of Science* por ano entre os anos de 2011 a 2021.

A maior parte das publicações foram realizadas em formato de artigo com 211 documentos, seguido de artigos de revisão com 55, e artigos de conferência com 16. Os outros tipos de documentos apresentaram cinco ou menos publicações cada (Figura 3).

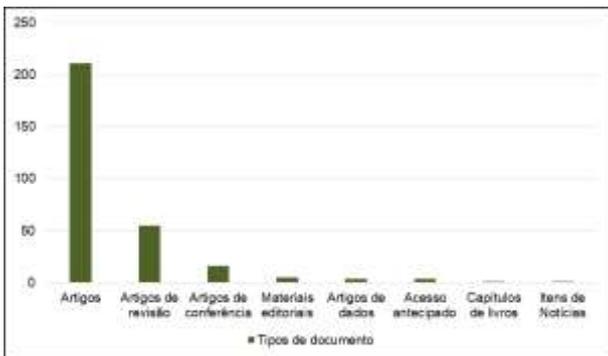


Figura 3. Quantidade de documentos publicados no *Web of Science* por tipos de documentos levantados entre os anos de 2011 a 2021.

A universidade que realizou mais publicações foi a Universidade do Estado de Oregon, com 17 publicações, seguida pelo Departamento de Agricultura dos Estados Unidos e pela universidade Academia Chinesa de Ciências, ambas com 12 publicações (Figura 4).

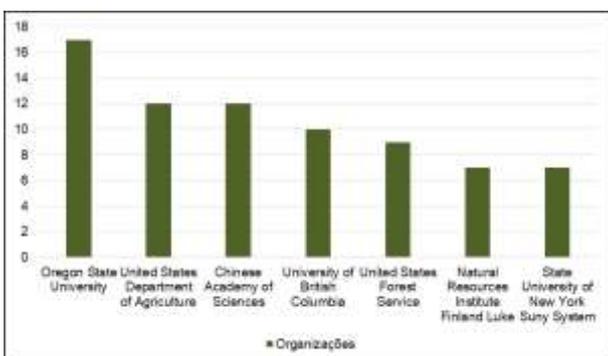


Figura 4. Quantidade de documentos publicados no *Web of Science* por organizações.

As pesquisas realizadas com a biotecnologia florestal têm aumentado nos últimos anos, sendo possível presumir o aumento da importância dada a ela. As pesquisas publicadas são produtos de centros que possuem maiores recursos financeiros, uma vez que a área de biotecnologia envolve equipamentos e reagentes que em geral são bastante onerosos. Os Estados Unidos da América, China e Finlândia, onde estão os principais centros com documentos publicados, são países bastante desenvolvidos e com uma situação financeira e estabilidade promissoras para a realização de pesquisas na área.

Do número total de questionários enviados às empresas de base florestal, apenas 50% foi respondido (10 respostas), e destas: 80% das empresas utilizam a biotecnologia florestal para melhorar o rendimento e produtividade das florestas; nenhuma empresa a utiliza em florestas nativas.

Dentre as empresas que utilizam ferramentas biotecnológicas, seis fazem uso de marcadores moleculares e cultura de tecidos, três de poliploidia, duas de transgenia e *barcode* e uma de CRISPR-Cas 9. A maioria das empresas trabalha com *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*; há empresas que trabalham com a biotecnologia florestal de modo recente (apenas oito meses), assim como aquelas que já utilizam há algum tempo (16 anos). Do total de empresas apenas duas responderam que não fazem o uso da biotecnologia devido a dificuldade inicial na implantação, comentando que não há dificuldades após planejamento e capacitação.

Cerca de 30% das empresas responderam que houve uma melhora significativa na produção e rendimento do povoamento quando comparado com a época em que não utilizavam biotecnologia florestal e que seu uso trouxe melhoras econômicas para a empresa. Foi detectado que 40% das empresas possuem estrutura própria para o desenvolvimento de técnicas de biotecnologia florestal. Em relação à parceria ou terceirização para realização dessas técnicas, 1/3 respondeu que possuem parceria, 1/3 faz terceirização do serviço e 1/3 ambas, sendo 40% com universidades, 40% com centro de pesquisa e 20% com outra empresa. Apenas uma empresa possui um produto patentado, focado em celulose. São envolvidos na utilização de biotecnologia desde uma até 14 pessoas nas equipes de pesquisa das empresas. Também, há diversas respostas das empresas quanto às perspectivas futuras, mas a maioria comenta que deseja continuar os estudos de melhoramento ao investir ou inovar nas pesquisas na

área, ou então iniciar estudos quando houver maior percepção do retorno.

O fato de não serem utilizadas ferramentas biotecnológicas em florestas nativas reflete ausência de estudos suficientes no Brasil para estas florestas. Uma ferramenta interessante, principalmente para a área de conservação, é o uso de marcadores moleculares. Os marcadores moleculares são ferramentas básicas para os estudos em genética da conservação, uma vez que permitem a caracterização da variabilidade e estrutura genética nas populações. A estrutura genética da população refere-se à heterogeneidade na distribuição dos genótipos e da variabilidade genética dentro e entre as populações, a fim de se descrever como essa informação pode ser útil para a conservação e o manejo das espécies (KAMADA et al., 2009).

Em relação às florestas plantadas, a maioria das empresas trabalham com *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.*, seguindo a tendência do mercado florestal, uma vez que as florestas plantadas no Brasil são principalmente desses gêneros. No ano de 2019, a área total de árvores plantadas totalizou 9,0 milhões de hectares. Desse total, 77% é representado pelo cultivo de eucalipto com 6,97 milhões de hectares, 18% de pinus com 1,64 milhão de hectares e 0,39 milhão de hectares plantados de outras espécies, entre elas a seringueira, acácia, teca e paricá (IBÁ, 2020).

Foram encontrados trabalhos publicados sobre cultura de tecidos, transgenia e marcadores moleculares, percebe-se que as empresas também estão utilizando essas ferramentas. As técnicas de *barcode* e CRISPR-Cas 9 são mais recentes e, portanto, ainda não foram incorporadas aos programas de melhoramento de todas as empresas. Essas técnicas possuem um alto potencial apresentado com outras espécies, então é possível que em um futuro próximo as empresas comecem a aderir mais a estas ferramentas.

Para começar a investir em biotecnologia florestal, é necessário um projeto com planejamento envolvendo custos, mão de obra, infraestrutura e o levantamento dos benefícios para a implementação dessas ferramentas nas empresas. Isto pode levar bastante tempo, e como a tecnologia é relativamente nova e custosa, as empresas ainda estão estudando sua viabilidade, principalmente as pequenas empresas, por possuírem um menor capital de investimento. Há empresas que trabalham há pouco tempo com biotecnologia florestal e ainda não mensuraram as melhorias econômicas ou os benefícios da utilização dessas técnicas. Muitas ainda preferem desenvolver

melhoramento florestal clássico, e outras optam por iniciar parcerias ou terceirização como investimento nessas técnicas.

Apenas uma empresa possui um produto patenteado produto de biotecnologia. A patente é um título de propriedade temporária sobre uma invenção ou modelo de utilidade, outorgado pelo Estado aos inventores ou autores ou outras pessoas físicas ou jurídicas detentoras de direitos sobre a criação (GALVANI, 2019). A empresa possui o produto patenteado com finalidade de celulose, importante matéria-prima utilizada em diversos segmentos, como nas indústrias de papel, fraldas descartáveis, tecidos e biocombustíveis.

Essa perspectiva da patente como resultado potencializa a importância do uso de biotecnologia em processos florestais, uma vez que o Brasil tem destaque na produção de celulose e é líder mundial em exportação, segundo dados de Ibá (2020). No setor de árvores plantadas, a celulose representa 66% dos produtos exportados, enquanto o papel, é o segundo produto da cadeia, representando 18%. Em 2019, o país se manteve como segundo maior produtor, atingindo 19,7 milhões de toneladas. De toda a produção, 75% foram destinados para exportação, totalizando 14,7 milhões de toneladas. O mercado doméstico foi responsável pelo consumo de 5,2 milhões de toneladas.

A maioria das empresas de base florestal deseja implementar algumas das técnicas de biotecnologia florestal ou gostaria de aprimorar as que já estão sendo utilizadas, pois percebem que os estudos realizados, sejam pela própria empresa ou por universidade e outras entidades, são promissores e podem trazer benefícios.

CONCLUSÕES

Nos últimos anos o número de pesquisas que utilizam a biotecnologia florestal tem aumentado, sendo publicados trabalhos principalmente sobre os temas de cultura de tecidos, marcadores moleculares e transgenia.

Em relação às empresas florestais, muitas têm utilizado essas técnicas nas florestas plantadas a fim de melhorar o rendimento e produtividade. Ainda assim, há as que não utilizam biotecnologia florestal, apenas técnicas tradicionais de melhoramento genético e não há registros de uso dessas técnicas em florestas nativas.

A maioria das empresas deseja implementar algumas das técnicas de biotecnologia florestal, ou gostariam de aprimorar as que já estão sendo utilizadas, pois têm perspectivas de que os estudos realizados, sejam pela

própria empresa, pela universidade ou outras entidades, sejam promissores.

AGRADECIMENTOS

As autoras expressam seu agradecimento ao Laboratório Biotecnologia Florestal do Departamento de Ciências Florestais e do Curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná por permitir e incentivar a pesquisa.

REFERÊNCIAS

ALVES, T.L. da S. **Aplicação de DNA Barcoding para identificação de espécies pertencentes as tribos Sisyrinchieae e Tigridieae (Iridaceae)**. 2013. 123p. (Tese de Doutorado). Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/131873>

AMABILE, R.F. et al. **Melhoramento de plantas: variabilidade genética, ferramentas e mercado**. 1.ed. Brasília: Proimpress; Sociedade Brasileira de Melhoramento de Plantas, 2018. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1106825/melhoramento-de-plantas-variabilidade-genetica-ferramentas-e-mercado>

ARNEMANN, J.A. **Uso de ferramentas moleculares para identificar e estudar pragas invasivas no Brasil**. 2015. 164p. (Tese de Doutorado). Disponível em: <https://repositorio.ufsm.br/handle/1/3256>

COSTA, A.M. et al. **Conservação de recursos genéticos no Brasil**. 1.ed. Brasília: Embrapa, 2012. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/998664/conservacao-de-recursos-geneticos-no-brasil>

GALVANI, M. Patenteabilidade dos Organismos Geneticamente Modificados (OGMs). **Holos Environment**, v.9, n.2, 2019. DOI: <https://doi.org/10.31517/rsa.v4i08.251>

GONSAGA, R.F. et al. **Atualidades em Melhoramento Genético Florestal. Tópicos Especiais em Genética Aplicada**. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2016. Disponível em: https://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/234888/topicos_livro_jabo.pdf?sequence=1&isAllowed=y

IBÁ. Relatório Anual. **Indústria brasileira de árvores**, São Paulo, 2020. Disponível em: <https://www.iba.org/datafiles/publicacoes/relatorios/relatorio-iba-2020.pdf>.

KAMADA, T. et al. Diversidade genética de populações naturais de *Pfaffia glomerata* (Spreng.) Pedersen estimada por marcadores RAPD. **Acta Scientiarum Agronomy**, v.31, n.3, 2009. DOI: <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v31i3.548>

LIMA, N.; MOTA, M. **Biotecnologia. Fundamentos e Aplicações**. 1.ed. Lisboa: Lidel, 2003.

MOLINARI, H.B.C. et al. **Tecnologia CRISPR na edição genômica de plantas: biotecnologia aplicada a agricultura**. 1.ed. Brasília:

Embrapa, 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/1126157/tecnologia-crispr-na-edicao-genomica-de-plantas-biotecnologia-aplicada-a-agricultura>