

Universidade Federal de Pelotas
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação
Centro de Desenvolvimento Tecnológico
Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais



Dissertação de Mestrado

**Obtenção e caracterização do extrato pirolenhoso a partir da casca de
noz-pecã (*Carya illinoensis*)**

Caren Wilsen Miranda Coelho Wanderley

Pelotas, 2023

Caren Wilsen Miranda Coelho Wanderley

**Obtenção e Caracterização do Extrato Pirolenhoso a partir da casca de
noz-pecã (*Carya illinoenses*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós
Graduação em Ciências Ambientais da Universidade
Federal de Pelotas como requisito parcial à obtenção
do título de Mestre em Ciências Ambientais.

Orientador: Dr. Darci Alberto Gatto

Coorientadoras: Dra. Silvia H. Fuentes Silva e Dra. Ivandra I. de Santi

Pelotas, 2023

Universidade Federal de Pelotas / Sistema de Bibliotecas
Catalogação na Publicação

C672o Coelho, Caren Wilsen Miranda

Obtenção e caracterização do Extrato Pirolenhoso a partir da casca de noz-pecã (*Carya illinoienses*) / Caren Wilsen Miranda Coelho ; Darci Alberto Gatto, orientador ; Silvia Helena Fuentes, Ivandra Ignês de Santi, coorientadoras. — Pelotas, 2023.

75 f.

Dissertação (Mestrado) — Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Centro de Engenharias, Universidade Federal de Pelotas, 2023.

1. Extrato pirolenhoso. 2. Compostos bioativos. 3. Indústria alimentícia. 4. Casca de noz-pecã. I. Gatto, Darci Alberto, orient. II. Fuentes, Silvia Helena, coorient. III. Santi, Ivandra Ignês de, coorient. IV. Título.

CDD : 363.7

**Obtenção e Caracterização do Extrato Pirolenhoso a partir da casca de noz-
pecã (*Carya illinoensis*)**

por

Caren Wilsen Miranda Coelho Wanderley

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais - PPGCAmb do Centro de Engenharias da Universidade Federal de Pelotas, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do Título de

Mestre em Ciências Ambientais

Banca examinadora:

Prof. Dr.º Darci Alberto Gatto (Orientador). Doutor em Engenharia Florestal pela Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr.º Rogério Antônio Freitag. Doutor em Química pela Universidade Federal de Pelotas

Dr.ª Camila Monteiro Cholant. Doutora em Ciências e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Pelotas

Pelotas, 07 de Março de 2023

**Dedico esse trabalho a Deus,
meu esposo e aos meus filhos.**

Agradecimentos

Primeiramente agradeço a Deus pelo dom da vida, pela certeza do seu espírito santo em meu coração em todos momentos bons e difíceis.

Ao meu esposo André pelo amor dedicado a mim através de apoio, paciência e parceria, pela voz de apoio e motivação nos momentos difíceis e comemoração nos momentos felizes, por estar comigo e por mim sempre que preciso, sem você não conseguiria chegar até aqui.

Aos nossos filhos Gustavo, Eduardo, Ana Carolina e Davi pelo amor genuíno, presença e dom de apenas estar e fazer meu dia mais feliz.

A minha mãe Rute para orações e ao meu pai pela ligações.

Quando passei na seleção sabia que a maior dificuldade estava ainda por vir, mas diferente da graduação finalizada há mais de 12 anos, agora eu sabia que precisava conciliar amor e atenção à minha família, cuidados com a casa à uma intensa carga de estudos e trabalho, o que confesso passou bem longe do fácil.

Mas aqui estou, finalizando esse ciclo e já iniciando um novo ciclo no doutorado graças a Deus, a minha família amada e à pessoas especiais que o mestrado me deu alegria de conhecer como meu orientador prof. Darci, minha coorientadora Ivandra e sua família foi certamente um dos maiores presentes que o mestrado me trouxe em forma de conhecimento científico e também pela sabedoria de vida!

Também registro aqui minha gratidão a Silvia pela coorientação, sempre me auxiliando no que eu precisasse, sem nunca exitar.

Agradeço a todos professores que me permitiram utilizar os laboratórios e equipamentos da universidade para execução deste projeto.

À CAPES pelo incentivo da bolsa, certamente foi útil para execução deste projeto.

E finalizo agradecendo aos professores e doutores Rogério e Camila que fizeram parte da minha banca de qualificação, e estarão presentes da defesa. Por terem me direcionado nas correções e observações, aprendi muito com todos vocês.

Meus sinceros agradecimentos e gratidão,

Caren

Toda honra e glória a Deus eternamente!
Amém

Resumo

COELHO, Caren Wilsen Miranda. **Obtenção e caracterização do extrato pirolenhoso a partir da casca de noz – pecã (*Carya illinoensis*)**. 73p. Orientador; Darci Alberto Gatto. Dissertação de mestrado em ciências ambientais da Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2023.

A valorização por novos materiais sustentáveis está cada vez mais avançada e pesquisas de novas maneiras para reutilizar diversos tipos de biomassa é uma preocupação crescente devido aos impactos negativos causados ao meio ambiente em relação à geração de resíduos e à natureza não biodegradável. Este trabalho relata a valorização da biomassa residual lignocelulósica a partir da utilização da casca de noz da nogueira-pecã (*Carya illinoensis*) obtida da produção e industrialização da pecanicultura no estado do Rio Grande do Sul, o principal produtor nacional. E tem por objetivo obter o líquido pirolenhoso bruto por processo de pirólise lenta (carbonização), purificação, caracterização físico-química, bem como direcionamento para fins alimentícios. A metodologia dessa pesquisa baseia-se em caracterizações de rendimento, pH, cor, aroma, fitotoxidade, FTIR, espectrometria UV-vis e etc. De forma geral os produtos de pirólise; contêm muitos componentes, esses compostos possuem substâncias ricas em carbonos com abundantes propriedades funcionais como aromaticidade por exemplo, importante para utilização na indústria alimentícia e compostos fenólicos que possuem propriedades antibacterianas e fungicidas, além de conferir odor característico defumado. Este estudo forneceu informações sobre a possibilidade do uso do líquido pirolenhoso bruto e do extrato pirolenhoso purificado como subsídio para produção de bioproduto, transformando o que, antes, era considerado um resíduo em fonte de material para a obtenção de diversos produtos tornando sua aplicabilidade viável para os fins propostos no trabalho como aditivo alimentar, principalmente, visto que, torna-se solução aquilo que é considerado um grande problema, não só financeiro como também ambiental, para a indústria.

Palavras-chave: extrato pirolenhoso. compostos bioativos. indústria alimentícia. casca de noz-pecã

Abstract

COELHO, Caren Wilsen Miranda. **Obtaining and characterizing the pyroligneous extract from pecan nut shell (*Carya illinoensis*)**. 73p. Advisor; Darci Alberto Gatto. Master's dissertation in environmental sciences at the Federal University of Pelotas, Pelotas, 2023.

The appreciation for new sustainable materials is increasingly advanced and research into new ways to reuse different types of biomass is a growing concern due to the negative impacts caused to the environment in relation to the generation of waste and the non-biodegradable nature. This work reports the valuation of residual lignocellulosic biomass from the use of pecan nut shell (*Carya illinoensis*) obtained from the production and industrialization of pecan farming in the state of Rio Grande do Sul, the main national producer. And it aims to obtain the crude pyroligneous liquid through a process of slow pyrolysis (carbonization), purification, physical-chemical characterization, as well as targeting for food purposes. The methodology of this research is based on characterizations of yield, pH, color, aroma, phytotoxicity, FTIR, uv-vis spectrometry, etc. In general, pyrolysis products; contain many components, these compounds have carbon-rich substances with abundant functional properties such as aromaticity, for example, important for use in the food industry, and phenolic compounds that have antibacterial and fungicidal properties, in addition to imparting a characteristic smoked odor. This study provided information on the possibility of using the crude pyroligneous liquid and the purified pyroligneous extract as a subsidy for the production of a bioproduct, transforming what was previously considered a waste into a source of material for obtaining various products, making its applicability viable for the purposes proposed in the work as a food additive, mainly, since what is considered a big problem, not only financial but also environmental, for the industry becomes a solution.

Keywords: pyroligneous extract. bioactive compounds. food industry. pecan shell

Lista de Figuras

Figura1. Nogueira-pecã.....	22
Figura2. Noz-pecã: a) cacho; b) nozes colhidas sendo descascadas; c) casca de nozes moídas.....	23
Figura3. Demonstrativo dos produtos obtidos a partir do processo de carbonização de materiais lignocelulósicos.....	29
Figura4. Amostras de produtos pirolenhosos provenientes de diferentes processos.....	32
Figura5. Os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU.....	42
Figura6. Matéria-prima utilizada para extração do LP cru (casca de noz-pecã in-natura).....	43
Figura7. Fluxograma metodológico para extração, obtenção e caracterização físico-química do extrato pirolenhoso obtido da casca de noz-pecã	44
Figura8. Esquema ilustrativo do Equipamento de pirólise lenta	45
Figura9. Armazenamento doLPB em potes de vidro.....	46
Figura10. Recipiente com LPB após a coleta....	45
Figura11. Separação do LPB em 3 camadas distintas.....	52
Figura12. Comparativo EP1 e EP2	53
Figura13. Alcatrão depositado no fundo do pote de vidro após 90 dias	57

Lista de Tabelas

Tabela1. Caracterização física do extrato pirolenhoso.....	32
Tabela 2. Alguns dos principais const. não fenólicos e fenólicos identificados no extrato pirolenhoso por meio de técnicas de análise instrumental.	33
Tabela 3. Quantidade de matéria-prima, tempo/temperatura na pirólise lenta.	50
Tabela4. Caracterização física do Lote 1	56
Tabela5. Caracterização física do lote 2	57
Tabela6. Caracterização física do lote 3	60

Tabela de Gráficos

Gráfico1. Percentagem de LPB, carvão e GNC (gases não-condensáveis).....	54
Gráfico2. Rendimento LPB, EP1 e EP2	55
Gráfico3. Resultado da espectroscopia no infravermelho com Fourier do lote 1	58
Gráfico4. Resultado da espectroscopia no infravermelho com Fourier do lote 2	59
Gráfico5. Resultado da espectroscopia no infravermelho com Fourier do lote 3	59
Gráfico6. Resultado da espectrofotometria UV- vis do lote 1.....	61
Gráfico7. Resultado da espectrofotometria UV- vis do lote 2.....	61
Gráfico8. Resultado da espectrofotometria UV- vis do lote 3.....	62
Gráfico9. Fitotoxicidade do LPB em concentrações diversas	63
Gráfico10. Fitotoxicidade do EP1em concentrações diversas.....	64
Gráfico11. Fitotoxicidade do EP2 em concentrações diversas.....	64

Lista de Abreviaturas e Siglas

APAN	Associação de Produtores de Agricultura Natural
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Ensino Superior
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
EP1	Extrato Pirolenhoso Purificado (destilado)
EP2	Extrato Pirolenhoso Purificado (bidestilado)
g	Gramas
HPA	Hidrocarbonetos Policíclicos Aromáticos
IBPECAN	Instituto Brasileiro de Pecanicultura
kg	Quilograma
LP	Líquido Pirolenhoso
LPB	Líquido Pirolenhoso Bruto
m	Metro
mg	Miligrama
mim	Minutos
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
pH	Potencial de Hidrogênio
rpm	Rotação por minuto
UFPeI	Universidade Federal de Pelotas
uv	Ultravioleta
vis	Visível

Sumário

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVO.....	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1 Biomassa lignocelulósica	18
3.2 Resíduo agroindustrial.....	19
3.3 Noz-Pecã.....	20
3.3.1 Histórico e produtividade	20
3.3.2 Características botânicas	21
3.3.3 Casca da noz	23
3.3.3 Composição nutricional	24
3.3.4 Atividade antioxidante e outras	25
3.4 Líquido Pirolenhoso.....	25
3.4.1 Obtenção do líquido pirolenhoso	27
3.4.2 Método de Pirólise.....	27
3.4.3 Pirólise lenta ou carbonização.....	28
3.5 Extrato Pirolenhoso	29
3.5.1 Propriedades organolépticas	30
3.5.1.1 Sabor	30
3.5.1.2 Odor/Aroma	30

3.5.1.3 Brilho/Cor	31
3.5.1.4 Textura/Viscosidade	31
3.6 Propriedades físicas	31
3.7 Propriedades químicas.....	33
3.8 Aplicações na indústria alimentícia	34
3.8.1 Principais aditivos alimentares a base produtos de pirólise	35
3.8.2 Ação Antioxidante	36
3.8.3 Ação antifúngica e antimicrobiana.....	37
3.8.4 Substituição de produtos químicos sintéticos	38
3.8.5 Outras aplicações.....	38
3.9 Ecotoxicologia	39
3.10 Economia Circular	40
3.11 Desenvolvimento sustentável	41
4 METODOLOGIA.....	43
4.1 Local da Pesquisa	43
4.2 Matéria-prima	43
4.3 Fluxograma metodológico	44
4.4 Processo de extração do líquido pirolenhoso bruto (LPB)	44
4.5 Etapas para obtenção do extrato pirolenhoso	45
4.5.1 Decantação: fracionamento e armazenamento.....	46
4.5.2 Purificação: destilação e bidestilação.....	46
4.6 Análises físicas.....	46

4.7 Análises químicas	47
4.7.1 Espectroscopia no infravermelho com Fourier (FTIR).....	47
4.7.2 Espectrofotometria UV – VIS	47
4.8 Rendimento	47
4.8.1 Rendimento do LPB.....	47
4.8.2 Rendimento do EP	47
4.9 Fitotoxicidade	48
4.9.1 Índice de germinação.....	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	50
5.1 Extração do LPB	50
5.2 Obtenção do EP1 e EP2	51
5.2.1 Decantação.....	51
5.2.2 Purificação	53
5.3 Rendimentos	54
5.3.1 Rendimento LPB.....	54
5.3.2 Rendimento do EP1 e EP2	55
5.4 Análises físicas.....	56
5.5 Análises químicas	58
5.5.2 Espectrofotometria UV-vis	61
5.6 Fitotoxicidade	63
6 CONCLUSÃO.....	66
REFERÊNCIAS	68

1 Introdução

Mundialmente famosa por suas nozes a nogueira-pecã (*Carya illinoenses*), é uma das principais espécies produtoras de nozes (noz-pecã) e uma das árvores lenhosas e frutíferas mais importantes do mundo (BHARDWAJ; SHARMA, 2017). Geograficamente a noz-pecã é nativa da América do Norte e sua cultura é bastante difundida no sul dos Estados Unidos e México, juntos eles fornecem 92% da produção mundial de noz-pecã (INC, 2019).

No Brasil, em 2018 a produção em território nacional tenha sido de aproximadamente, 7,3 mil toneladas em uma área de cerca de 3,8 mil hectares (IBGE, 2018), sendo o estado do Rio Grande do Sul o maior produtor nacional, com cerca de 74% da produção do país (SEAPDR, 2020).

Diante deste cenário, a quantidade de resíduos da pecanicultura gerados como resultado dos processos de colheita e processamento industrial tem aumentado consideravelmente nos últimos anos, gerando grandes quantidades de materiais residuais altos volumes destes elementos no ambiente (FLORES-ESTRADA et al., 2019). Essa expansão agrícola originou preocupações ambientais e a redução dos impactos negativos gerados tornou-se imprescindível (VAZ JÚNIOR, 2020).

O desperdício da casca de noz-pecã pode causar poluição ambiental e desperdício de recursos (RES et al., 2018) de uma matéria prima de alto valor agregado (MATTOS et al., 2019). É um cenário bastante preocupante, considerando-se que até 80% do peso total das nozes é referente a resíduos, caracterizados como bioprodutos de grande potencial (SANTOS, 2020).

A queima desses resíduos pode afetar a biota do solo causando sua degradação. Além do mais, um grande número de partículas, carbono orgânico volátil e compostos de carbono orgânico semivolátil, cinzas, aerossóis de sulfato e outros gases tóxicos também são liberados na atmosfera. Esses poluentes contribuem para as emissões de gases de efeito estufa, que podem gerar muitos problemas ambientais graves em escala global, como aumento das mudanças climáticas, extinção da biodiversidade e graves problemas socioeconômicos e de saúde (VAZ JÚNIOR, 2020).

Atualmente, a indústria tem grande interesse por produtos provenientes da química limpa. Os produtos pirolenhosos se enquadram perfeitamente nessa categoria, principalmente na área de alimentos. Sendo que o uso dos compostos

presentes no extrato pirolenhoso como catalisadores naturais, e também como fonte de compostos naturais dos mais diversos grupos (MATTOS *et. al.*, 2019).

Por essa razão, o líquido pirolenhoso vem atraindo a atenção de pesquisadores e técnicos de diversas áreas. Considerado um fluido orgânico, bruto e altamente oxigenado (WEI; MA; DONG, 2010) de coloração amarela a marrom avermelhada é extraída de diferentes espécies vegetais através da condensação e recuperação de gases voláteis a partir da pirólise de biomassas (SILVEIRA, 2010).

A obtenção do líquido pirolenhoso ocorre a partir da condensação da fumaça oriunda da carbonização de uma biomassa lignocelulósica, neste caso a casca da noz-pecã, tornando essa uma alternativa sustentável (KELY *et. al.*, 2017). A purificação desse líquido, pode produzir um bioproduto mais refinado, conhecido por extrato pirolenhoso, considerado uma fonte valiosa de compostos químicos de inúmeras funcionalidades, como antioxidante, antisséptico, antimicrobiano, anti-inflamatório, herbicida, pesticida, atividade antitérmica, potenciador de crescimento de plantas, além de fornecer sabor e aroma defumado para alimentos (PEREIRA; FAULLER; MAGALHÃES, 2022).

2 Objetivo

2.1 Objetivo Geral

Obter e caracterizar o extrato pirolenhoso a partir da casca de noz da nogueira - pecã (*Carya illinoensis*).

2.2 Objetivos Específicos

- Viabilizar o estudo do fracionamento do líquido pirolenhoso a partir da casca de noz-pecã;
- Fracionar, armazenar e purificar o líquido pirolenhoso a partir de processos de decantação e destilação para obtenção do extrato pirolenhoso purificado;
- Caracterizar por análises físico-química o extrato pirolenhoso da casca de noz-pecã.

3 Revisão de literatura

3.1 Biomassa lignocelulósica

A biomassa pode ser definida como “material produzido pelo crescimento de microrganismos, plantas ou animais”, o que abrange uma ampla variedade de espécies da natureza (USDOE, 2000). As principais fontes de biomassa são herbáceas, agrícola; aquática; lignocelulósica e também há biomassa do tipo animal e humana (FÉLIX et al., 2017).

Quanto a disponibilidade no ambiente, a biomassa lignocelulósica é a mais abundante em comparação às outras, pois é formada por celulose, hemicelulose e lignina, que são os três componentes da parede celular e da estrutura morfológica das plantas – celulose e hemicelulose são polímeros polissacarídicos e a lignina é uma macromolécula fenólica (VAZ JÚNIOR, 2020).

Além disso, por ser um recurso sustentável, se tratado adequadamente, poderá contribuir com a redução das emissões de gases de efeito estufa na atmosfera, gerando um ciclo sustentável entre a sua produção e utilização (KHAN *et. al.*, 2019; SANTOS *et. al.*, 2014).

O resíduo da biomassa lignocelulósica reaproveitado pode ser encontrado em palhas, cascas, bagaços, colmos e folhas e afins (JULIO, 2020). Enfaticamente, os resíduos provenientes do agronegócio têm sido amplamente estudados a fim de obter coprodutos com maior valor agregado, carvão, gás, líquido pirolenhoso, dentre outros (VALADÃO; DUARTE; FILHO, 2019).

Diante disso, as pesquisas estão avançando para trabalhar com rotas de conversão para desenvolvimento de bioprodutos sustentáveis, desenvolvidos a partir da utilização de resíduos de biomassas, como é o caso do líquido e do extrato pirolenhoso (PARADA *et. al.*, 2017; JULIO, 2020).

Considerando-se o potencial de aplicabilidade desse tipo de biomassa, é fundamental destacar a necessidade de atribuir maior atenção ao reaproveitamento deste tipo de material residual, explorando a sua potencialidade, agregando valor aos coprodutos e possibilitando a aplicação de tecnologias ambientalmente promissoras no seu processamento. Nesta perspectiva, inúmeros procedimentos e tecnologias inovadoras que visam agregar valor às biomassas residuais ricas têm sido aplicadas (AKHTAR *et. al.*, 2012).

3.2 Resíduo agroindustrial

Para se ter uma ideia da dimensão da atividade agroindustrial a produção global de biomassa a partir de resíduos agrícolas e florestais foi estimada em 146 bilhões de toneladas por ano, que são principalmente descartados em aterros ou queimados em cinzas. A queima desse resíduo de biomassa pode causar diversos problemas ambientais graves em escala global, desde a degradação do solo por afetar a sua biota. Além de contribuir para as emissões de gases de efeito estufa, dissipando um grande número de partículas e gases tóxicos na atmosfera. Esses poluentes que podem contribuir para o aumento das mudanças climáticas globais, extinção da biodiversidade e graves problemas socioeconômicos e de saúde (FÉLIX *et. al.*, 2017).

Por exemplo, a Organização Mundial da Saúde (OMS, 2020) informou que 6,7% das mortes globais são devido à poluição do ar, cuja queima de biomassa pode ser um contribuinte significativo. A emissão de gases de efeito estufa está aumentando a uma taxa média de 1% ao ano desde 1990. Portanto, é importante minimizar a queima ou o desperdício de biomassa vegetal e, em vez disso, desenvolver uma redução de poluição de baixo custo e tecnologias sustentáveis para convertê-la em bioprodutos úteis. Muitos países já começaram a usar e promover recursos naturais renováveis para mitigar os problemas ambientais e de saúde globais.

Nesse contexto, o Brasil é o quarto maior produtor mundial de resíduos de biomassa de origem agrícola. Thipalhi *et. al.* (2019) estimam a produção anual seja de 140 Gt, ficando atrás apenas de países como China, EUA e Índia. Esses resíduos podem ser utilizados como matéria-prima para produção de diversos produtos, energia, insumos químicos, dentre outros. Atualmente grande parte dessa enorme quantidade de biomassa residual gerada poderia ser aproveitada para produção de novos produtos, gerando inúmeros benefícios socioeconômicos e ambientais a sociedade.

No sul do Rio Grande do Sul, segundo Sena *et. al.* (2014) aproximadamente 30% do volume da biomassa residual é queimada convertido em carvão com o restante emitido para a atmosfera, agravando a concentração de gases poluentes o que corresponde a quase 70% do resíduo obtido no processo de carbonização da biomassa consiste em produção de gases voláteis, sendo uma parte condensável, da qual se origina o líquido pirolenhoso.

A biomassa residual ainda não é bem utilizada no Brasil. Em muitos casos é deixada para decomposição natural do solo, sem aproveitamento do potencial químico

energético nela contida e produzindo gás carbônico e metano. Infelizmente, de forma quase generalizada, embora esse residual representa um grande potencial ainda inexplorado em todo o mundo (FÉLIX *et. al.*, 2017).

O uso da biomassa como fonte de energia e produção de bioprodutos requer conversões, que pode ser através de processos térmicos, biológicos ou mecânicos (GUEDES *et. al.*, 2018). A conversão do tipo termoquímica é um processo que converte a biomassa de forma eficiente e econômica, que pode ser utilizada em diferentes aplicações e é realizada através de processo como de combustão, pirólise, gaseificação, dentre outros (BRIDGWATER, 2003; GREWAL *et. al.*, 2018).

Infelizmente, a taxa de utilização dos recursos residuais da noqueira-pecã não é alta e o desperdício é grave, pois existem muitos resíduos de produção, como casca de noz-pecã, exocarpo, inflorescência e assim por diante. Esses resíduos podem causar problemas de poluição ambiental, por isso é necessário trabalhar a valoração desse tipo de biomassa, com a devida atenção ao processo na produção de produtos bio sustentáveis relacionados a casca da noz-pecã (WEI *et. al.*, 2021).

3.3 Noz-Pecã

3.3.1 Histórico e produtividade

A noqueira-pecã é nativa da América do Norte e sua cultura é bastante difundida no sul dos Estados Unidos e seu fruto tem sido reportado na história da América como significativo suplemento alimentar na dieta indígena desde 1700. Com a exploração e colonização da América, a noz-pecã foi amplamente utilizada como meio de comércio entre os índios e caçadores, que espalhavam as pecãs aos longo dos rios (KOCH; RÁBAGO-PANDURO; PEÑA, 2020).

A noz-pecã é geralmente cultivada com êxito em áreas com altitudes de cerca de 914 -1829m acima do nível médio do mar. Sendo que áreas livres de fortes geadas e calor excessivo, que caracterizam um clima temperado ameno, são as mais indicadas para o seu cultivo bem-sucedido (KOCH; RÁBAGO-PANDURO; PEÑA, 2020).

No Brasil, a noqueira-pecã foi introduzida pelos primeiros imigrantes norte-americanos, que estabeleceram núcleos em Santa Bárbara do Oeste e Americana no estado de São Paulo. O marco inicial da cultura ocorreu na cidade de Piracicaba, no estado de São Paulo em 1910, dando origem a variedade "Piracicaba".

Posteriormente, variedades comerciais norte-americanas foram importadas, proporcionando a cultura da noqueira em outros estados brasileiros (PRADO, 2013).

A introdução progressiva da noz-pecã no Brasil em 1970 fez com que diminuísse significativamente (17,35%) a importação da noz europeia, que se distingue da noz-pecã (originária da América do Norte), por apresentar uma casca mais rugosa, menor teor de óleo e sabor diferenciado (ORTIZ, 2000).

Em 2020 a produção mundial de noz-pecã foi de aproximadamente 309.909t, sendo que México e Estados Unidos lideraram a produção mundial, respondendo por 47% e 45% respectivamente, e África do Sul, Austrália e Brasil responderam pelos 8% restante (WEI et al., 2021).

No Brasil, de acordo com dados da Secretaria da Agricultura, Pecuária e Desenvolvimento Rural - SAPDR (2020), estima-se que, em 2018, a produção em território nacional tenha sido de aproximadamente, 7,3 mil toneladas em uma área de cerca de 3,8 mil hectares. No entanto, destaca-se a produção concentrada nas regiões sul e sudeste, predominantemente nos estados do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (PRADO, 2013).

Sendo o Rio Grande do Sul o maior produtor nacional de noz-pecã, respondendo por cerca de 74% da produção brasileira e Cachoeira do Sul é o município com a maior área plantada, aproximadamente, 1050 hectares. Em 2020, o estado obteve a maior produção com 3.480 toneladas seguido pelos estados do Paraná e Santa Catarina (SEAPDR, 2020). Essa produção é proveniente de um grande número de pequenas propriedades que oferecem quantidades significativas de nozes para o mercado (PRADO, 2013).

3.3.2 Características botânicas

Na botânica sistemática, a noz-pecã é classificada sob a Reino *Plantae*; Classe, *Magnoliopsida*; Ordem, *Juglandales*; Família, *Juglandaceae* e Gênero, *Carya*, somente esse gênero possui aproximadamente 25 espécies, na qual a *Carya illinoensis* é uma delas.

A noqueira-pecã pode atingir na idade adulta até 40 metros de altura, 40 metros de diâmetro de copa e 2 metros de circunferência de tronco (Figura1), e sua longevidade pode superar até 200 anos (FABRIZIO *et. al.*, 2018).

O fruto da noqueira é a drupa, que se agrupa em cachos com três a sete unidades de nozes, sendo o epicarpo separado do fruto na maturação. O peso das

nozes varia bastante de acordo com a variedade, sendo necessárias de 60 a 160 nozes para atingir o peso de 1kg (PRADO, 2013).

Além disso, a *Carya illinoensis* é considerada um dos membros mais importantes do gênero *Carya*, estudos comprovam propriedades importantes em toda sua constituição. Por exemplo, as folhas têm sido utilizadas como hipoglicemiante, purificante, adstringente, queratolítico, antioxidante e antimicrobiano (BHARDWAJ; SHARMA, 2017). Embora, as folhas não sejam objeto deste estudo são necessárias investigações farmacológicas detalhadas para que as atividades medicinais desta planta possam ser melhor exploradas.

Figura1. Nogueira-pecã



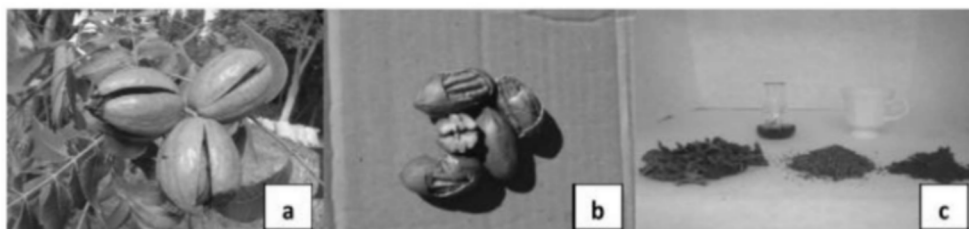
Fonte: IBPECAM (2022)

Como o próprio nome diz, a noz-pecã é uma noz, que consiste em um caroço envolvido pela casca. A forma e dimensão da castanha varia de acordo com a forma do cultivo e a maturação ocorre no outono da mesma estação. A noz pode ser considerada como um órgão de armazenamento. De fato, armazena minerais, carboidratos, óleos, aminoácidos e proteínas que servirão ao futuro embrião para respiração, germinação e até mesmo nas fases iniciais da vida da muda até que se torne autossuficiente (PRADO, 2013).

O desenvolvimento da castanha inicia-se com a polinização e pode ser dividido em duas fases distintas: com a fase I, que ocorre desde a polinização até o endurecimento da casca e a fase II, que ocorre desde o endurecimento da casca até a quebra da casca. O tempo de colheita depende da área de cultivo. No Brasil, a noz

pecã geralmente é colhida no início no mês de abril e normalmente se estende até junho, durando em média 50 dias. Este ciclo longo se deve as diversas variedades que são plantadas no Brasil, sendo a Barton a principal delas e a mais precoce (IBPCAN, 2021). Assim que a castanha está fisiologicamente madura, a casca verde fica seca, racha e a castanha cai. As castanhas são coletadas manualmente ou mecanicamente, utilizando-se um vibrador hidráulico de tronco e uma colheitadeira mecânica, conforme demonstrado na Figura2. (FABRIZIO *et. al.*, 2018).

Figura2. Noz-pecã: a) cacho; b) nozes colhidas sendo descascadas; c) casca de nozes moídas



Fonte: PRADO (2013)

A qualidade da noz-pecã na pós-colheita depende de muitos fatores e varia de acordo com o uso pretendido do produto. O sabor é o atributo de qualidade interna mais importante utilizado pelos consumidores. As nozes frescas têm um aroma e sabor característicos, e por isso muitas vezes são consumidos sem torrar (FABRIZIO *et. al.*, 2018).

3.3.3 Casca da noz

Estudos desenvolvidos com base na casca da noz de nogueira-pecã relatam a presença de bio compostos importantes, que apresentam grande potencial de aplicabilidade em vários setores, o que se caracteriza além de um benefício econômico significativo, uma alternativa sustentável (WEI *et al.*, 2021).

Com base na literatura, a casca da noz-pecã apresenta concentrações de compostos fenólicos, taninos e flavonoides, o que mostra a possibilidade de utilização destes materiais para a obtenção de compostos bioativos (FLORES-ESTRADA *et. al.*, 2019; PRADO *et. al.*, 2013). Ainda, constatou-se que há uma grande concentração de fibras e carboidratos na casca de noz-pecã, o que, inclusive, necessitam ser melhor investigados para utilização na alimentação humana (PRADO *et. al.*, 2009; (WEI *et al.*, 2021).