

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PELOTAS
Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel
Programa de Pós-Graduação em Agronomia
Área do conhecimento: Fruticultura de Clima Temperado



Dissertação

**Desempenho produtivo e parâmetros genéticos das cultivares de noqueira-
pecã**

Liana Carine dos Santos del Valle

Pelotas, 2023

Liana Carine dos Santos del Valle
Engenheira Agrônoma

**Desempenho produtivo e parâmetros genéticos das cultivares de nogueira-
pecã**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em ciências (área do conhecimento: Fruticultura de Clima Temperado).

Orientador: Prof. Dr^a. Caroline Farias Barreto
Coorientadores: Dr^a. Roseli de Mello Farias
Dr. Marcelo Barbosa Malgarim

Pelotas, 2023

Desempenho produtivo e parâmetros genéticos das cultivares de noqueira- pecã

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Mestre em Ciências (área do conhecimento: Fruticultura de clima temperado), Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas.

Data da Defesa: 18/12/2023

Banca Examinadora:

.....
Dr^a. Caroline Farias Barreto (Presidente)

Dr^a. Em Agronomia, Professora da Faculdade IDEAU, Caxias do Sul – RS e Professora da Pós-Graduação em Agronomia da Universidade Federal de Pelotas – UFPel. Pelotas – RS.

.....
Dr. Carlos Roberto Martins

Doutor em Agronomia, pesquisador da Embrapa Clima Temperado, Pelotas, RS, Brasil.

.....
Dr^a. Débora Leitzke Betemps

Doutora em Agronomia, professora da Universidade Federal da Fronteira (UFFS), Cerro Largo, RS, Brasil.

.....
Dr^a. Doralice Lobato de Oliveira Fisher

Doutora em Ciências, professora do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Sul-rio-grandense/IFSul, Pelotas, RS, Brasil.

Aos meus pais e ao meu filho.

Agradecimentos

À Deus.

À minha mãe, que sempre esteve ao meu lado me encorajando e me incentivando a estudar, e avançar a cada dia mais, um passo em minha formação.

Ao meu filho, por estar comigo nos momentos difíceis, e me fazer lutar incansavelmente para alcançar meus objetivos.

Aos demais familiares, e não menos importantes, pelo incentivo, apoio e ajuda nos momentos mais críticos.

À Dr^a. Roseli de Mello Farias, minha co-orientadora durante a pós-graduação, pela amizade, ensinamentos, apoio e incentivo ao longo desses anos de convivência. Agradeço por todas as conversas e orientações.

À minha orientadora Prof^a. Dr^a. Caroline Farias Barreto pela orientação e confiança concedidas a mim.

Ao Pedro Escosteguy, proprietário do estabelecimento onde tive a oportunidade de realizar meu estudo, em Santana do Livramento, posso dizer que serei eternamente grata.

Aos professores do PPGA-UFPel pelos ensinamentos transmitidos.

Aos meus colegas de pós-graduação.

À Universidade Federal de Pelotas pela oportunidade de realizar o mestrado no Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Área de Fruticultura de Clima Temperado.

A todos que direta ou indiretamente contribuíram para a conclusão deste trabalho, os meus agradecimentos.

Resumo

DEL VALLE, Liana Carine dos Santos. **Desempenho produtivo e parâmetros genéticos das cultivares de noqueira-pecã**. 2023, 71f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Faculdade de Agronomia Eliseu Maciel, Universidade Federal de Pelotas, RS.

O cultivo da noqueira-pecã, *Carya illinoensis*, vem aumentando no Rio Grande do Sul, necessitando de mais pesquisas e informações técnicas para o desenvolvimento da cultura. Existem diversas cultivares de noqueira-pecã havendo a necessidade de verificar a adaptação desses materiais em diferentes regiões de cultivo. Deste modo, o objetivo deste trabalho foi caracterizar o desempenho agrônomo e a qualidade de nozes de diferentes cultivares de noqueira-pecã, visando identificar o potencial de cultivo das cultivares em região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul. Com esse propósito os ensaios realizados são apresentados em dois artigos. O artigo um intitulado “Fenologia e Produtividade de Cultivares de Noqueira-pecã” teve como objetivo determinar o desenvolvimento fenológico e a produtividade de oito cultivares de noqueira-pecã. O estudo foi desenvolvido entre as safras de 2020 e 2023 nas cultivares Barton, Desirable, Elliot, Jackson, Mohawk, Shoshoni, Stuart e Success. A cultivar Elliot obteve o maior índice de produção na primeira safra, enquanto que a ‘Barton’ obteve na segunda safra e ‘Barton’ e ‘Elliot’ na terceira safra avaliada. Os maiores resultados para rendimento de nozes foram para ‘Barton’ na primeira safra, na segunda safra foram as cultivares Barton, Elliot e Jackson e na terceira safra a ‘Barton’ e a ‘Elliot’. O artigo 2 intitulado “Parâmetros genéticos, ganhos de seleção e correlações entre caracteres de *Carya illinoensis* utilizando modelos mistos teve como objetivo estimar os parâmetros genéticos de cultivares de *Carya illinoensis* utilizando a metodologia da máxima verossimilhança restrita-residual maximum likelihood (REML) e realizar a seleção com base na melhor predição linear parcial-best linear unbiased prediction (BLUP), além de testar associação entre caracteres de produtividade e qualidade de frutos. Verificou-se que grande parte dos caracteres avaliados neste estudo apresentou efeito genotípico significativo. Constatou-se a influência da interação genótipo x ambiente para os caracteres produtivos e de qualidade das nozes. No entanto, esses efeitos não foram observados nos caracteres agrônômicos. A produção por planta e a produtividade por hectare apresentaram correlações positivas com a eficiência produtiva em relação ao volume de copa. Assim, o melhoramento genético da noqueira-pecã pode ser uma estratégia valiosa para aprimorar a produção e comercialização das nozes.

Palavras-chave: *Carya illinoensis*, período da floração, produção, rendimento e seleção.

Abstract

DELVALLE, Liana Carine dos Santos. 2023. **Productive performance and genetic parameters of pecan cultivars**. 71l. Dissertacion (Master's) – Graduate Program in Agronomy, Faculty of Agronomy Eliseu Maciel, Federal University of Pelotas, RS.

The cultivation of the pecan tree, *Carya illinoensis*, has increased in Rio Grande do Sul, requiring more research and technical information for the development of the crop. There are several pecan cultivars, but it is necessary to verify the adaptation of these materials in different growing regions. Therefore, the objective of this work was to characterize the agronomic performance and quality of nuts from different pecan cultivars, aiming to identify the cultivation potential of the cultivars in the Western Border region of Rio Grande do Sul. For this purpose, the tests carried out are presented in two articles. Article one entitled "Phenology and Productivity of Pecan Cultivars" aimed to determine the phenological development and productivity of eight pecan cultivars. The study was carried out between the 2020 and 2023 harvests on the cultivars Barton, Desirable, Elliot, Jackson, Mohawk, Shoshoni, Stuart and Success. The cultivar Elliot obtained the highest production rate in the first harvest, while 'Barton' obtained it in the second harvest and 'Barton' and 'Elliot' in the third harvest evaluated. The highest results for nut yield were for 'Barton' in the first harvest, in the second harvest were the cultivars Barton, Elliot and Jackson and in the third harvest 'Barton' and 'Elliot'. Article 2 entitled "Genetic parameters, selection gains and correlations between *Carya illinoensis* traits using mixed models" aimed to estimate the genetic parameters of *Carya illinoensis* cultivars using the restricted maximum likelihood-residual maximum likelihood (REML) methodology and carry out selection based on the best linear partial-best linear unbiased prediction (BLUP), in addition to testing the association between productivity traits and fruit quality. It was found that most of the characters evaluated in this study showed a significant genotypic effect. The influence of the genotype x environment interaction on the productive and quality traits of nuts was verified. However, these effects were not observed in agronomic traits. Production per plant and productivity per hectare showed positive correlations with productive efficiency in relation to canopy volume. Thus, genetic improvement of pecan trees can be a valuable strategy to improve the production and commercialization of nuts.

Keywords: *Carya illinoensis*, flowering period, production, yield and selection.

Lista de Figuras

Artigo1

Figura 1. Índices de variáveis climáticas coletadas da estação meteorológica A804 do INMET, localizada no município de Santana do Livramento, RS, nos anos de 2020 a 2023	34
Figura 2. Período de floração das cultivares de noqueira-pecã avaliadas no município de Santana do Livramento, RS, 2020	35
Figura 3. Período de floração das cultivares de noqueira-pecã avaliadas no município de Santana do Livramento, RS, 2021	36
Figura 4. Período de floração das cultivares de noqueira-pecã avaliadas no município de Santana do Livramento, RS, 2022	37

Artigo 2

Figura 1. Rede de correlações genéticas entre os caracteres de <i>Carya illinoensis</i>	50
--	----

Lista de Tabelas

Tabela 1. Calendário de execução do projeto de pesquisa	12
Tabela 2. Detalhamento dos custos estimados para a execução do projeto	13

Artigo 1

Tabela 1. Tipo de dicogamia de cultivares de nogueira-pecã nas safras 2021, 2022 e 2023 no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul	31
Tabela 2. Tabela referente à produção por planta, produtividade e rendimento de amêndoa de cultivares de nogueira-pecã nas safras de 2021, 2022 e 2023 no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul	32
Tabela 3. Tabela de produção acumulada referente à soma das produtividades nas safras dos anos de 2021, 2022 e 2023	33

Artigo 2

Tabela 1. Análise de deviance (ANADEV) de oito cultivares de nogueira-pecã para caracteres vegetativos	45
Tabela 2. Análise de deviance (ANADEV) de oito cultivares de nogueira-pecã para caracteres produtivos	46
Tabela 3. Análise de deviance (ANADEV) de oito cultivares de nogueira-pecã para caracteres de qualidade	47
Tabela 4. Estimativas do ganho genético predito (BLUP) para os caracteres de produção, produtividade e rendimento em <i>Carya illinoensis</i> considerando o desempenho médio dos anos de experimento	52

Sumário

1. Introdução geral	1
2. Projeto de pesquisa.....	4
2.1 Título	4
2.2 Introdução	4
3. Objetivos	5
3.1 Objetivo geral	5
3.2 Objetivos específicos	5
4. Justificativa.....	6
5. Revisão bibliográfica	7
5.1 Características botânicas.....	7
5.2 Situação da noqueira-pecã no mundo e no Brasil.....	8
5.3 Fenologia da noqueira-pecã.....	9
6. Material e métodos	10
6.1 Fenologia, produção e qualidade dos frutos	10
6.1.1 Estudo 1: Fenologia e produção de cultivares de noqueira-pecã.	10
6.2.1 Estudo 2: qualidade dos frutos de noqueira-pecã.....	10
7. Cronograma de atividades	12
8. Custos	13
9. Referências bibliográficas	14
10. Relatório	16
10.1 Relatório de trabalho de campo	16
11. Artigos desenvolvidos.....	18
11.1 Artigo 1.....	18
1. Introdução	19
2. Material e métodos.....	21
3. Resultados e discussão	23

4. Conclusões.....	27
Agradecimentos.....	27
Declaração de conflito de interesse.....	27
Referências.....	27
11.2 Artigo 2.....	38
1. Introdução.....	39
2. Material e Métodos	40
3. Resultados e Discussão	44
4. Conclusão.....	53
5. Referências.....	53
12. Considerações finais	57
13. Referências	58

1. Introdução geral

A produção de frutas possui grande importância nacional, sendo a fruticultura um segmento da agricultura em crescimento econômico. Atualmente, o Brasil é o 3º maior produtor mundial de frutas, com produção anual aproximada de 41 milhões de toneladas distribuídas em uma área de 2,6 milhões de hectares, destinando ao mercado externo cerca de 1.024 milhões de toneladas de frutas, gerando receita de 970,4 milhões de dólares (ABRAFRUTAS, 2022).

A fruticultura de clima temperado no Brasil destaca-se pelo cultivo de macieira, pessegueiro, videira, entretanto, nos últimos anos, outras frutíferas vêm se destacando como alternativa de cultivo para o Sul do Brasil. Nesta condição, a pecanicultura torna-se uma opção para pequenos e médios agricultores, em especial agricultores familiares (NOGARA, 2018).

Em relação à saúde, sua importância se deve aos efeitos benéficos fornecidos pelos compostos fenólicos, gorduras monos e poliinsaturadas, ácidos, fitoesteróis, tocoferóis e micronutrientes que reduzem o risco de doenças (FRONZA et al., 2018).

Atualmente, no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) encontram-se registradas 42 cultivares de noqueira-pecã, que são: Barton, Brooks, Caddo, Cape Fear, Cherokee, Chetopa, Chickasaw, Choctaw, Clark, Curtis, Davis, Desirable, Elliott, Farley, Forkert, Giles, Gloria Grande, Gormely, Jackson, Jenkins, Jubilee, Kiowa, Mahan, Major, Moneymaker, Moore, Oconee, Owens, Patricks, Pawnee, Peruque, Pitol 1 (Melhorada), Pitol 2 (Importada), Posey, Sucess, Shawnee, Shoshoni, Sioux, Stuart, Sumner e Woodroof (MAPA, 2023). Essas cultivares diferem quanto as principais características, tais como: o hábito de crescimento do ramo, tipo de dicogamia, formato de fruto, produtividade e qualidade de fruto (HAMANN et al., 2018).

A noqueira-pecã é uma espécie frutífera pertencente à família Jugladiaceae, monóica, com inflorescências masculinas (estaminadas) e femininas (pistiladas) na mesma planta. Apresenta dicogamia com períodos de liberação do pólen e receptividade do estigma em épocas distintas. A dicogamia pode ser completa, quando não há sobreposição da liberação do pólen com a receptividade do estigma, ou incompleta quando há alguma sobreposição (DE MARCO, 2020). O desenvolvimento das inflorescências masculinas (amentos) inicia a partir de gemas

mistas em ramos de ano, ou seja, de um ano de idade. As inflorescências femininas (racimos) surgem no ápice da brotação de ramos do ano, ou seja, em ramos que brotaram no ciclo atual (DE MARCO, 2020). Para a noqueira-pecã a polinização é anemófila, ou seja, o pólen é transportado pelo vento após a abertura das anteras (WELLS, 2017, DE MARCO, 2020)

Portanto, tendo em vista a amplitude de cultivares de noqueira-pecã, tornam-se necessárias informações de fenologia, dos estádios de desenvolvimento das plantas e do ciclo produtivo desta espécie. Conforme descrito por De Marco et al. (2021), o conhecimento da fenologia das plantas, por meio da observação dos caracteres morfológicos, é de grande importância para a eficiência do manejo adotado, identificando o momento fisiológico em que se encontram, permitindo o planejamento dos tratos culturais.

Os Estados Unidos é líder mundial na produção de nozes, representando cerca de 50% da produção total (ZHANG et al., 2015). A colheita da noz-pecã no Brasil ocorre entre março a maio, coincidindo com a entressafra nos Estados Unidos (EUA) e no México, onde a colheita é realizada de outubro a dezembro (LÓPEZ et al., 2014). De maneira geral, a produtividade média brasileira está entre 600 e 1000 kg.ha⁻¹, sendo inferior a outros países como Austrália, EUA, México e Argentina (BILHARVA et al., 2018). Essa baixa produtividade pode estar associada à falta de conhecimento sobre as características das cultivares, informações de adaptabilidade de solo, tais como, implantação e condução, realizadas de maneira inadequada em pomares mais antigos (MARTINS et al., 2019). A região Sul do Brasil é a maior produtora de noz-pecã, havendo recentemente grande expansão da área cultivada onde as condições climáticas são favoráveis ao seu desenvolvimento (ROLIM et al., 2022). Os produtores dos municípios de Anta Gorda e Cachoeira do Sul, por serem pioneiros no cultivo de noqueira-pecã no RS, detêm maior experiência com as cultivares utilizadas e das técnicas de manejo da cultura (FRONZA et al., 2013). No entanto, com a expansão do cultivo da noqueira-pecã em outras regiões do estado, surgem certos entraves no manejo da cultura, como a determinação das cultivares produtora e polinizadora, de acordo com as condições edafoclimáticas das regiões.

Com relação às cultivares, para Santana do Livramento, devem ser selecionadas com o objetivo de atender as demandas do mercado, além de atender as condições edafoclimáticas da região. Sendo assim, a compreensão da variabilidade genética, da herdabilidade e da correlação genética entre os caracteres

de interesse torna-se fundamental para seleção de genótipos superiores (MAJIDI et al., 2009; FOGAÇA et al., 2012). Em plantas perenes, como a noqueira-pecã, a utilização da metodologia da máxima verossimilhança restrita (REML-Residual maximum likelihood) juntamente da melhor predição linear parcial (BLUP-Best linear unbiased prediction) é considerada como padrão para análise (SILVEIRA et al., 2022) justamente pela acurácia gerada pelo uso do BLUP, na estimação dos parâmetros genéticos e predição dos valores genotípicos.

Diante deste contexto, este trabalho teve-se por objetivo caracterizar o desempenho agrônômico e a qualidade de nozes de diferentes cultivares de noqueira-pecã, visando identificar o potencial de cultivo das cultivares em região da Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul.

2. Projeto de pesquisa

2.1 Título

Caracterização agronômica de diferentes cultivares de noqueira-pecã na região da fronteira oeste – RS

2.2 Introdução

A noqueira-pecã, *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch, espécie frutífera pertencente à família Jugladiaceae, predominantemente de clima temperado, vem sendo cultivada em vários países. É uma frutífera caducifólia, de porte alto e de grande longevidade produtiva (WELLS, 2017). As plantas de noqueira-pecã podem chegar até 200 anos de idade, atingir alturas entre 30 a 60 metros e diâmetro de tronco de 1,20 m (FRONZA; HAMANN, 2016). Nos primeiros anos apresentam casca de textura lisa, tornando-se ásperas e com fendas com o passar do tempo. Apresentam raízes pivotantes, que crescem rapidamente podendo atingir profundidades de até 2 metros. O fruto é uma drupa agrupada em cachos compostos de três a sete unidades, envolvidos em um tegumento verde. Com o amadurecimento o tegumento torna-se marrom (FRONZA; HAMANN, 2016).

A noqueira-pecã é uma planta monóica, portanto, possui flores masculinas e femininas na mesma planta, apresentando um fenômeno denominado dicogamia, ou seja, a maturação das partes feminina e masculina ocorre em épocas distintas. Sendo assim, é necessário que se tenha uma cultivar produtora e três ou quatro cultivares polinizadoras, para desta forma haver a sincronização do período de floração e, conseqüentemente, na polinização (BILHARVA et al., 2018).

Atualmente, no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) encontram-se registradas 41 cultivares de noqueira-pecã. Essas cultivares diferem nas características das plantas, tais como o hábito de crescimento do ramo, tipo de dicogamia, formato de fruto, produtividade e qualidade de fruto (HAMANN et al., 2018).

As principais cultivares disponíveis nos viveiros para implantação, segundo Fronza et al.(2018), são Barton, Cape Fear, Choctaw, Chickasaw, Desirable, Farley, Jackson, Shawnee, Stuart, Success e Shoshoni.

No Rio Grande do Sul (RS) as regiões dos municípios de Cachoeira do Sul e Anta Gorda são os maiores destaques com nogueira-pecã (LIMA et al., 2017). Essas regiões, por serem pioneiras no cultivo de nogueira-pecã no RS, detêm maior conhecimento das cultivares utilizadas e das técnicas de manejo da cultura. No entanto, com o crescimento do cultivo da nogueira-pecã em outras regiões do RS, surgem certos entraves no manejo da cultura, como a determinação das cultivares produtora e polinizadora, de acordo com as condições edafoclimáticas das regiões. Como ditas condições climáticas são bastante variáveis ressalta-se a importância da avaliação do desenvolvimento das plantas de nogueira-pecã na região de Santana do Livramento.

3. Objetivos

3.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho agrônômico de diferentes cultivares de nogueira-pecã, visando identificar o potencial de cultivo no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul.

3.2 Objetivos específicos

- Determinar a fenologia das cultivares avaliadas.
- Caracterizar a produção e a produtividade das cultivares avaliadas.
- Avaliar a qualidade dos frutos.

4. Justificativa

Contribuir para o desenvolvimento da nogueira-pecã no RS, bem como aprimorar as estratégias de manejo desta cultura. Diante da grande demanda por informações que auxiliem técnicos e produtores são necessários estudos que contribuam para a escolha adequada de cultivares produtoras e polinizadoras de nogueira-pecã. Deste modo, a avaliação do comportamento fenológico possui aspectos importantes sobre a produção dos frutos, além da modificação da fenologia de acordo com a região de cultivo e as condições climáticas. As avaliações de produção, produtividade e qualidade dos frutos contribuem para demonstrar o potencial de cultivo da região de Santana do Livramento.

5. Revisão bibliográfica

5.1 Características botânicas

A noqueira-pecã [*Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch] é uma planta pertencente à família Juglandaceae, nativa da região do rio Mississippi, com solos profundos, férteis e bem drenados. Esta área se estende do sul de Illinois (EUA) ao México (SPARKS, 2005). De acordo com o Departamento de Agricultura dos Estados Unidos, até o presente momento, são encontradas 22 espécies pertencentes ao gênero *Carya* nos Estados Unidos (UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE, 2010). A domesticação da planta é bastante recente, contudo, alguns estudos revelaram que o consumo humano de noz-pecã pode datar de aproximadamente 6.750 a. C. (WELLS, 2017).

A noqueira-pecã é uma espécie perene que possui fase vegetativa, reprodutiva e senescência, passando por um período de dormência vegetativa com queda das folhas e crescimento meristemático praticamente nulo (SPARKS, 1992; WELLS, 2017).

É uma planta de grande porte, com cerca de 20 a 30 metros de altura, podendo atingir até 40 metros, com 12 a 20 metros de diâmetro de copa e 2 metros de circunferência do tronco (FRONZA et al. 2018). O sistema radicular consiste em uma raiz principal, pivotante, e raízes laterais crescendo perpendiculares à primeira e paralelas à linha do solo. Destas raízes laterais surgem outras raízes que crescem verticalmente e têm a função de absorver água e nutrientes (SPARKS, 2005). A planta de noqueira-pecã apresenta folhas alternadas, de até 45 centímetros de comprimento, composta por nove a 15 folíolos. Trata-se de uma planta monóica, apresentando estruturas reprodutivas masculinas (estaminadas) e femininas (pistiladas) na mesma planta. Suas flores masculinas são chamadas de amentilhos e estão dispostas em grupos de dois a oito (FRONZA et al. 2018).

No Brasil, a noqueira-pecã foi introduzida por norte-americanos, que estabeleceram residência no estado de São Paulo na década de 1870, na cidade de Santa Bárbara D'Oeste (ORTIZ & CAMARGO, 2005). A expansão da cultura ocorreu em meados das décadas de 60 e 70 com grande estímulo ao plantio de noqueira-pecã, aliado aos incentivos fiscais concedidos aos empreendimentos florestais de

acordo com a Lei nº 5.106, de 2 de setembro de 1966, e posteriormente com o Decreto Lei nº 1.134 de 1970 (DE MARCO, 2020).

5.2 Situação da noqueira-pecã no mundo e no Brasil

A maior parte da área plantada com noqueira-pecã no mundo situa-se na América do Norte, principalmente nos Estados Unidos e México, com aproximadamente 159 mil e 112 mil hectares plantados, respectivamente (MARTINS et al., 2019). Segundo esses dados, a produção desses dois países corresponde a 92% da produção mundial. Na América do Sul, os principais países produtores são Uruguai, Argentina, Chile, Peru e Brasil, com destaque para Brasil e Argentina (SPARKS, 1992; WELLS, 2017).

A nível mundial, os principais países importadores de nozes são os EUA, com aproximadamente 57,6% do mercado, Canadá (10,4%), Holanda (7,1%), México (4,1%) e Inglaterra com 6,2% (MARTINS et al., 2019). A colheita da noz-pecã brasileira ocorre de março a maio coincidindo com a entressafra nos EUA e no México, onde a colheita é realizada de outubro a dezembro (LÓPEZ et al., 2014).

O Brasil não se destaca como um dos grandes importadores mundiais de nozes, entretanto, importa nozes com ou sem casca, dos países Argentina, Chile, China e Estados Unidos (MARTINS et al., 2018). Algumas exigências devem ser consideradas em relação ao mercado com relação à qualidade dos frutos como o rendimento de amêndoas, o tamanho e a coloração das amêndoas. A coloração das amêndoas pode variar conforme a cultivar, condições de colheita e secagem e armazenamento (MARTINS et al., 2018).

A expansão da cultura vem ocorrendo de forma significativa nos últimos anos. O mercado vem se tornando cada vez mais promissor devido a alguns fatores como o investimento de empresas privadas na produção de mudas, o auxílio técnico na implantação dos pomares, o elevado valor agregado das nozes e as pesquisas científicas realizadas nesta área de interesse para evolução do cultivo (ROVANI et al., 2015). Além disso, existe a possibilidade de expansão da produção, pois mais de 50% do consumo de castanhas no Brasil é importado (FRONZA & HAMANN, 2016).

A atual expansão das áreas cultivadas com noqueira-pecã em vários municípios do estado do Rio Grande do Sul, particularmente na região central, está ligada às características satisfatórias apresentadas pela cultura, como por exemplo,

a diversificação da produção para regiões com predomínio da agricultura familiar (BOSCARDIN & COSTA, 2018).

Atualmente a maioria dos pomares concentra-se na região Sul do Brasil onde a cultivar Barton é utilizada como cultivar principal (a de maior proporção no pomar), por apresentar baixa suscetibilidade á doenças, principalmente à sarna da noqueira-pecã (MARCO, 2020).As cultivares são multiplicadas por enxertia, e podem iniciar a produção dos quatro aos oito anos, a partir do plantio (BACKES & IRGANG, 2004).

5.3 Fenologia da noqueira-pecã

As plantas apresentam dicogamia completa quando a produção, viabilidade e dispersão do pólen da flor estaminada não coincidem totalmente com a receptividade do estigma da flor pistilada e apresentam dicogamia incompleta quando a produção, viabilidade e dispersão do pólen da flor estaminada coincidem parcialmente com a receptividade do estigma da flor pistilada (DE MARCO, 2020).

Há dois tipos de dicogamia, o primeiro é denominado “Tipo I” ou “protândrico”, onde a estrutura estaminada amadurece primeiramente. O segundo é denominado “Tipo II” ou “protogínico”, onde o pistilo amadurece primeiro, logo, se observa que o estigma das flores femininas se torna receptivo antes que os amentilhos comecem a liberar pólen (WELLS, 2017).

Segundo Grageda et al. (2013), o clima é um dos principais fatores do ambiente que influenciam no desenvolvimento dos cultivos das noqueiras, destacando que a temperatura elevada influencia diretamente na polinização, na floração e na formação dos frutos, resultando em poucos frutos por ramos, quando ocorre a desidratação dos grãos de pólen. Para a noqueira-pecã, a falta de frio (temperaturas inferiores a 7,2°C) no período de dormência das plantas resulta em brotações deficientes, floração irregular e baixo rendimento.

6. Material e métodos

6.1 Fenologia, produção e qualidade dos frutos

O projeto será composto por dois experimentos, que serão conduzidos em pomar no município de Santana do Livramento - RS entre os anos de 2021 e 2023. O experimento será conduzido em propriedade rural particular, localizada na Vila Palomas, de coordenadas geográficas 30°49'38"S 55°20'57"W. As plantas apresentam 10 anos de idade e estão dispostas no espaçamento de 9 x 6 metros. O delineamento utilizado será inteiramente casualizados com 8 cultivares, sendo cada repetição composta por 10 plantas, totalizando 80 parcelas.

6.1.1 Estudo 1: Fenologia e produção de cultivares de noqueira-pecã.

- a) Fenologia: os estádios fenológicos serão avaliados visualmente a partir do início da brotação das plantas até a colheita dos frutos. A coleta de dados de liberação do pólen e receptividade do estigma realizada a cada 2 dias de acordo com a Escala Fenológica da Nogueira-pecã, BBCH (BLEIHOLDER et al., 1997).
- b) Produção por planta (kg.planta^{-1}): será realizada com aferição da massa dos frutos de cada planta com a utilização de uma balança digital e os resultados expressos em Kg.
- c) Número de frutos com shuck fechado após a colheita: será realizado por meio da contagem de frutos em toda a planta.
- d) Quantidade das nozes em 1 Kg: será realizada a contagem das nozes existentes em 1 Kg.
- e) Rendimento de amêndoa: será obtido pela relação da massa total do fruto com a massa da amêndoa, expresso em porcentagem.

6.2.1 Estudo 2: qualidade dos frutos de noqueira-pecã

O experimento será conduzido no município de Santana do Livramento, RS. O experimento será constituído pelas cultivares Barton, Desirable, Elliot, Jackson,

Mohawk, Shoshoni, Stuart e Success. Para as avaliações de colheita, serão colhidos os frutos e será retirada uma amostra de 25 frutos por planta, que serão colocados em embalagem separadas, e após serão transportadas para o laboratório para a realização das variáveis. Variáveis a serem analisadas:

- a) Massa total dos frutos: aferição da massa dos frutos em balança digital, e os resultados expressos em Kg.
- b) Massa da amêndoa: massa dos frutos em balança digital, e os resultados expressos em gramas (g).
- c) Massa da casca: aferição da massa dos frutos em balança digital, e os resultados expressos em gramas (g).
- d) tamanho do fruto: realizado com paquímetro digital para a determinação do comprimento longitudinal e transversal dos frutos, e os resultados expressos em milímetros (mm).
- e) coloração: realizada de modo visual com utilização de um padrão de 4 quatro classes de cores de amêndoa para determinação da cor da película das nozes, segundo o Departamento de Agricultura dos EUA, através do normativo PEC-MC-1.

8. Custos

Tabela 2. Detalhamento dos custos estimados para a execução do projeto.

Descrição do material	Unidade	Quant.	Preço unit. (R\$)	Total (R\$)
Placas de identificação	1	80	0,85	68,00
Caneta marcador	1	1	40,00	40,00
Arame	Rolo	100	0,60	60,00
Trena	1	1	45,00	45,00
Trena laser	1	1	185,00	185,00
Balança	1	1	45,00	45,00
Combustível	L	1000	7,00	7000,00
Materiais para impressão	1	1000	0,30	300,00
Redes para frutos	1	100	0,80	80,00
Sacos plásticos	1	200	0,15	30,00
Quebrador de nozes	1	1	35,00	35,00
Paquímetro digital	1	1	157,00	157,00
Materiais bibliográficos, eventos e submissão de trabalhos	-	-	4.000,00	4.000,00
Outros materiais	-	-	1.200,00	1.200,00
Total				13.245,00

9. Referências bibliográficas

BACKES, P.; IRGANG, B. **Árvores do Sul. Guia de identificação & interesse Ecológico. As principais espécies nativas Sul-Brasileiras.** Instituto Souza Cruz, 2004. 204 p.

BBCH-Monograph: Growth stages of plants; Entwicklungsstadien von Pflanzen; 58 Estadios de las plantas; Stades de developementdes plantes. BlackwellWissenschafts-Verlag Berlin-Wien. 1997.

BILHARVA, M. G.; MARTINS, C. R.; HAMANN, J. J.; FRONZA, D.; MARCO, R. D.; MALGARIM, M. B. Pecan: from Research to the Brazilian Reality. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.23, n.6, p.1–16, 2018.

BOSCARDIN, J.; COSTA, E. C. Nogueira-pecã no Brasil: Uma revisão entomológica. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 456-468, 2018.

FRONZA, D.; HAMANN, J. J. **Técnicas para o cultivo de Nogueira-pecã.** Universidade Federal de Santa Maria. Colégio Politécnico da USFM. Núcleo de Fruticultura Irrigada, 2016.

FRONZA, D.; HAMANN, J. J.; BOTH, V.; ANESE, R. de O.; MEYER, E. A. Pecan cultivation: general aspects. **Ciência Rural**, v.48, n.2, 2018.

GRAGEDA, J. G. et al., El clima y la producción de nogal pecanero. In: XIV SIMPOSIO INTERNACIONAL DE NOGAL PECANEIRO, 2013, México. **Anais...** México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, 2013, p. 55-66.

HAMANN, J.J.; BILHARVA, M. G.; BARROS de J.; MARCO de R.; MARTINS, C. R. **Cultivares de nogueira-pecã no Brasil.** Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 43 p.

LIMA, L. D. S. C.; DA LUZ, M. L. G. S.; DA LUZ, C. A. S.; GADOTTI, G. I.; MALDANER, V.; SANTOS, J. B.; Bernardy, R. Viabilidade técnica e econômica da implantação de uma agroindústria de extrato vegetal. **Revista Brasileira de Engenharia e Sustentabilidade**, v.4, n.2, p. 48-53, 2017.

LÓPEZ, RR et al. Análise da rentabilidade da safra de noz-pecã na costa de Hermosillo. **Revista Mexicana de Agronegocios**, v.18, n.34, p.872-882, 2014.

MARCO, R. de. **Fenologia, xenia e irrigação na produção de frutos de nogueira-pecã.** 2020. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

- MARTINS, C. R.; CONTE, A.; FRONZA, D.; FILIPPINI ALBA, J. M.; HAMANN, J. J.; BILHARVA, M. G.; MALGARIM, M. B.; FARIAS, R. de M.; MARCO, R. de; REIS, T. S. **Situação e perspectiva da noqueira-pecã no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 31 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 462).
- MARTINS, C. R.; MARCO, R. de.; FARIAS, R. de M.; MALGARIM, M. B. Noz-pecã: panorama mundial. Informe técnico. **Revista Campo & negócios**, 2019. P. 52-55.
- ORTIZ, E. R. N.; CAMARGO, L. E. A. Doenças da Nogueira Pecan. In: KIMATI, H. et al.(Eds.) **Manual de fitopatologia: doenças das plantas cultivadas**. 4 ed. São Paulo: Agronômica Ceres ed. São Paulo: Agronômica Ceres, p.501-505.
- ROVANI, F. F. M.; WOLLMANN, C. A.; MONTEIRO, A. Exigências bioclimáticas e riscos climáticos ao cultivo da noqueira pecã (*Caryaillinoensis*) no Rio Grande do Sul, Brasil. IN: X Congresso da geografia portuguesa, 2015. Lisboa. **Anais...** Lisboa: Os valores da geografia. 2015. p. 834-839.
- SPARKS, D. **Pecans cultivars: the orchard's foundation**. Editora Pecan Productions Innovations. 1992. 446p.
- SPARKS, D. A Climatic Model for Pecan Production under Humid Conditions. **Journal of the American Society Horticultural Science**, v. 121, n. 5, p. 908 - 914, 1996.
- SPARKS, D. Adaptability of Pecan as a Species. **HortScience**, v. 40, n. 5, p. 1175–1189, 2005.
- UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE. **Plants profile: Caryaillinoensis (Wangenh.) K. Koch**. Estados Unidos, out. 2010. Disponível em: <<https://plants.usda.gov/java/profile?symbol=cail2>>. Acesso em: 12 nov. 2021.
- WELLS, L. **Pecanamerica's native nut tree**. Tuscaloosa: The University of Alabama Press, 2017. 264 p.

10. Relatório

10.1 Relatório de trabalho de campo

O presente trabalho foi definido a partir do projeto intitulado Caracterização agronômica de diferentes cultivares de noqueira-pecã na região da fronteira oeste - RS, sob orientação da professora Caroline Farias Barreto. Para a realização dos experimentos, foi constituída uma parceria interinstitucional entre a Universidade Federal de Pelotas, Universidade Estadual do Rio Grande do Sul e Embrapa Clima Temperado – Pelotas.

O início das atividades ocorreu em agosto de 2020, com a visita ao pomar de noqueira-pecã em Santana do Livramento – RS, e posterior, determinou-se o delineamento estatístico, as cultivares a serem utilizadas e quantidade de plantas para avaliações.

Durante o período de mestrado foram avaliados período de floração, a produção e qualidade de frutos de oito cultivares de noqueira-pecã. As avaliações foram realizadas durante cada ciclo vegetativo das plantas. Para a avaliação do período de floração foram marcados quatro ramos por planta, nos sentidos norte, sul, leste e oeste, avaliados a cada três dias. Essas avaliações foram realizadas do mês de setembro a novembro. As avaliações produtivas foram avaliadas do mês de dezembro a junho. As avaliações de qualidade dos frutos foram realizadas nos meses de junho e julho.

Os manejos de poda, adubação, controle da irrigação, limpeza das entrelinhas, e pulverizações fitossanitárias foram realizados pelos funcionários sob a orientação do responsável técnico do pomar. A colheita dos frutos foi realizada com a utilização de trator e shacker, e logo após a colheita, foram armazenados em caixas para a realização da pesagem, contagem dos frutos com cápsula fechada, e separação de um quilo e meio de nozes de cada planta para as avaliações de qualidade de nozes. Os frutos foram levados ao secador de grãos da propriedade para redução de umidade. Logo após foram levados ao galpão para a realização das avaliações de comprimento e largura de amêndoa, comprimento e largura de nozes, espessura de casca e coloração de amêndoa.

Os experimentos propostos no projeto de dissertação foram executados, com algumas modificações nas análises estatísticas que foram propostas na

metodologia. Foi acrescentado a metodologia da máxima verossimilhança restrita-residual maximum likelihood (REML) e realizar a seleção com base na melhor predição linear parcial-best linear unbiased prediction (BLUP), o qual foi realizado no artigo dois intitulado “Parâmetros genéticos, ganhos de seleção e correlações entre caracteres de *Carya illinoensis* utilizando modelos mistos.

11. Artigos desenvolvidos

11.1 Artigo 1

Período da floração e produtividade de cultivares de noqueira-pecã

Pollination phenology and productivity of pecan cultivars

**Artigo formatado nas normas da Pesquisa Agropecuária Brasileira (ISSN:1678-3921)*

Resumo - O objetivo do trabalho foi caracterizar o período da floração, a produção e o rendimento de amêndoa de noqueira-pecã. O experimento foi conduzido em uma propriedade rural, no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul. Durante as safras 2020 a 2023, avaliou-se oito cultivares de noqueira-pecã, Barton, Desirable, Elliot, Mohawk, Jackson, Shoshoni, Stuart e Success. Foram avaliados o período de floração, produção por planta e rendimento de amêndoa com a proporção de amêndoa em relação à casca, expressa em porcentagem. As cultivares Barton, Elliot, Mohawk, Shoshoni, Success apresentaram protandria e Desirable e Stuart, protoginia. As cultivares Barton e Elliot apresentaram ciclo curto de floração, enquanto Desirable, Stuart e Success apresentaram ciclo longo de floração entre os anos avaliados. A cultivar Elliot destacou-se com maior índice de produção na safra 2020/2021 com 7,48 Kg, Barton na safra 2021/2022 com 9,47 Kg e Barton e Elliot na safra 2022/2023 com 8,33 Kg e 8,08 Kg, respectivamente. Os maiores resultados para rendimento de amêndoa foram para Barton com 52,30% na safra 2020/2021, Barton, Elliot e Jackson na safra 2021/2022 com 50,75%, 50,52% e 49,93%, respectivamente, e Barton com 50,77% e Elliot com 50,52% na safra 2022/2023. Assim, de acordo com o desempenho produtivo das cultivares de noqueira-pecã, as cultivares podem ser cultivadas na região do estudo, com destaque para a Barton e Elliot.

Palavras chave: *Carya illinoensis*, período da floração, produção, rendimento de nozes.

Abstract: The objective of the work was to characterize the flowering period, production and yield of pecan kernels. The experiment was conducted on a rural property, in the municipality of Santana do Livramento, Rio Grande do Sul. During the 2020 to 2023 harvests, eight pecan tree cultivars were evaluated: Barton, Desirable, Elliot, Mohawk, Jackson, Shoshoni, Stuart and Success. The flowering period, production per plant and almond yield were evaluated with the proportion of almonds in relation to the shell, expressed as a percentage. The cultivars Barton, Elliot, Mohawk, Shoshoni, Success showed protandry and Desirable and Stuart, protogyny. The cultivars Barton and Elliot had a short flowering cycle, while Desirable, Stuart and Success had a long flowering cycle between the years evaluated. The Elliot cultivar stood out with the highest production rate in the 2020/2021 harvest with 7.48 kg, Barton in the 2021/2022 harvest with 9.47 kg and Barton and Elliot in the 2022/2023 harvest with 8.33 kg and 8.08 kg, respectively. The highest results for almond yield were for Barton with 52.30% in the 2020/2021 harvest, Barton, Elliot and Jackson in the 2021/2022 harvest with 50.75%, 50.52% and 49.93%, respectively, and Barton with 50.77% and Elliot with 50.52% in the 2022/2023 harvest. Thus, according to the productive performance of pecan cultivars, the cultivars can be cultivated in the study region, with emphasis on Barton and Elliot.

Keywords: *Carya illinoensis*, flowering period, production, nut yield.

1. Introdução

No Brasil, o maior produtor nacional de noqueira-pecã (*Carya illinoensis*) é o estado do Rio Grande do Sul, com mais de cinco mil hectares plantados, seguido pelos estados do Paraná e Santa Catarina (Martins et al., 2017; Bilharva et al., 2018). As áreas de cultivo, no Brasil, vêm crescendo nos últimos anos, favorecidas pelas condições de solo e clima, e também pelo aumento do consumo e valorização de mercado (Bilharva et al., 2018).

A noqueira-pecã é uma espécie monóica com inflorescências femininas (pistiladas) e masculinas (estaminadas) na mesma planta e dicogamia, com períodos de liberação do pólen e receptibilidade do estigma diferentes. A dicogamia pode ser completa, quando não há sobreposição da liberação do pólen com a receptividade do estigma, ou incompleta, com alguma sobreposição (Wells, 2017; De Marco et al., 2021; De Marco et al., 2023). É necessário que se tenha uma cultivar produtora e três ou quatro cultivares polinizadoras, pois haverá sincronização do período de floração e, conseqüentemente, na polinização (Bilharva et al., 2018). Assim, as cultivares polinizadoras necessitam liberar pólen no período em que a cultivar principal esteja com as inflorescências pistiladas (femininas) receptivas (Martins et al., 2017).

Atualmente no registro nacional de cultivares do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento encontram-se registradas 42 cultivares de noqueira-pecã (MAPA, 2023). Essas cultivares diferem nas características das plantas, como o hábito de crescimento do ramo, tipo de dicogamia, formato de fruto, produtividade e qualidade de fruto (Hamann et al., 2018). Crosa et al. (2020) afirmam que as informações sobre a situação da cultura no Brasil ainda são incipientes quanto aos aspectos produtivos assim como as principais cultivares utilizadas, espaçamentos adotados e principais manejos fitossanitários.

A fenologia de plantas demonstra os estádios morfológicos pela qual a planta passa durante seu ciclo produtivo, sendo extremamente dependente de fatores como o estado nutricional das plantas, variáveis climáticas, localização geográfica e condições de manejo (Zhang et al., 2015; Lima, 2020). O conhecimento da fenologia é uma ferramenta eficaz no manejo das plantas, pois permite identificar, por meio da observação de seus caracteres morfológicos, o momento fisiológico ao qual se encontram associadas às necessidades térmicas de cada cultivar (De Marco et al., 2021). Conhecer a fenologia e a interação com

local de cultivo possibilita o planejamento dos tratos culturais, assertividade nos manejos fitossanitários e a possibilidade do aumento da produtividade.

Assim, com o aumento da produção dos pomares de nogueira-pecã no RS são necessários estudos que estabeleçam informações técnicas que contribuam para a escolha adequada de cultivares. Neste contexto, o objetivo deste trabalho caracterizar o período da floração, a produção e o rendimento de amêndoa de nogueira-pecã na região de Santana do Livramento, RS.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado em uma propriedade rural, localizada na Vila Palomas (30°49'38''S55°20'57''W), no município de Santana do Livramento, RS, nos ciclos de produção 2021, 2022 e 2023. O pomar foi implantado no ano de 2001, conduzido no espaçamento entre linhas de 9 metros e entre plantas de 6 metros, totalizando em densidade de 185 plantas ha⁻¹. Conforme Köppen e Geiger (1928), a classificação do clima é Cfa. Santana do Livramento tem uma temperatura média de 18.1 °C e pluviosidade média anual de 1532 mm (INMET, 2023). A classificação do solo da região é como Argissolo Amarelo Alumínico endoredóxico com baixa fertilidade natural e presença de acidez, exigindo investimentos em corretivos, fertilizantes e sistemas de manejo para alcançar rendimentos satisfatórios (STREK et al., 2018).

Para a realização do experimento foram utilizadas as cultivares: Barton, Desirable, Elliot, Jackson, Mohawk, Shoshoni, Stuart e Success. O delineamento utilizado foi inteiramente casualizados com 8 cultivares, com dez repetições, sendo cada repetição composta por uma planta, totalizando 80 parcelas. Todas as plantas receberam os mesmos tratos culturais como adubação, podas, tratamentos fitossanitários e controle de plantas daninhas, as quais foram realizadas no pomar a critério do produtor.

A temperatura média diária, precipitação média e as horas de frio durante o período do experimento foram coletadas da estação meteorológica A804 do INMET, localizada no município de Santana do Livramento, RS, Brasil (Figura 1). As horas de frio foram contabilizadas de maio a setembro. No ano de 2020 foram registradas 422 horas de frio, em 2021 foram 386 horas de frio, 2022 foram 487 horas de frio e no ano de 2023, 240 horas de frio, calculadas com base nas temperaturas abaixo ou igual a 7,2°C.

Avaliou-se: a fenologia das plantas, sendo os estádios fenológicos observados visualmente a partir do início da brotação das plantas até a colheita dos frutos, realizados em um ramo em cada quadrante (Norte, Sul, Leste e Oeste), totalizando quatro ramos por planta. A coleta de dados de liberação do pólen e receptividade do estigma foi realizada a cada dois dias após o início do estágio fenológico BBCH54 (surgimento das estruturas reprodutivas femininas e masculinas) até o estágio fenológico BBCH69, correspondente ao final da floração, de acordo com a tabela adaptada Han et al.(2018) da Escala Fenológica da Nogueira-pecã, Biologische Bundesanstalt, Bundessortenamt und Chemische Industrie (BBCH) (De Marco, 2021). Os estádios fenológicos da noqueira-pecã são baseados na escala modificada do BBCH, definidos em 22 estádios para acompanhamento das plantas (BBCH00 ao BBCH95). A produção por planta (kg. planta⁻¹) foi realizada com a aferição da massa dos frutos de cada planta com a utilização de uma balança digital e os resultados expressos em quilograma (Kg). Foram separados 1,5 Kg de nozes para a contagem de nozes constantes em um quilo e posteriormente, reservadas 25 nozes de cada amostra para as avaliações de qualidade de nozes. O rendimento de amêndoa foi obtido pela relação da massa total do fruto com a massa da amêndoa, expresso em porcentagem (%).

Os resultados foram analisados quanto à normalidade (teste de Shapiro Wilk) e homocedasticidade (teste de Hartley), sendo posteriormente submetidos à análise de variância, através do Teste F, cujas variáveis significativas ($p < 0,05$) tiveram as médias

comparadas pelo teste de Duncan. Para esses procedimentos foi utilizado o programa estatístico Sisvar software, versão 5.6 (Ferreira, 2014).

3. Resultados e discussão

As avaliações comparativas quanto ao desenvolvimento dicogâmico das cultivares de noqueira-pecã indicam o surgimento dos órgãos femininos e masculinos das plantas entre as safras avaliadas (Tabela 1). A fenologia das plantas demonstra os estádios morfológicos pelos quais cada planta passa durante seu ciclo produtivo, sendo extremamente dependente de fatores nutricionais, além das condições climáticas, de solo, regionais e manejo dos pomares (Zhang et al., 2015; Lima, 2020).

Constatou-se que Desirable e Stuart foram as únicas cultivares que apresentaram dicogamia protogínica no município de Santana do Livramento (Tabela 1). No entanto, as cultivares Barton, Elliot, Mohawk, Shoshoni e Success apresentaram protândria. A cultivar que apresentou maior variação quanto ao período de floração foi a Jackson, demonstrando em 2020, primeiramente, o surgimento das inflorescências masculinas (protândria) e nos anos de 2021 e 2022, o surgimento das inflorescências femininas (protoginia). Em estudo conduzido por De marco et al. (2021), em Cachoeira do Sul, a cultivar Barton desenvolveu primeiramente as estruturas masculinas (protândria), corroborando com o resultado obtido em Santana do Livramento, entretanto, em Canguçu, apresentou protoginia.

Essas diferenças estão relacionadas pelo fato da noqueira-pecã ser uma planta monóica e apresentar também dicogamia, ou seja, apresenta períodos de liberação do pólen distintos da receptividade do estigma. A dicogamia pode variar entre as cultivares, podendo apresentar dicogamia completa, quando não há sobreposição da liberação do pólen com a receptividade do estigma, ou incompleta, quando há alguma sobreposição (De Marco et al., 2021). A variação do período da floração também está relacionada às condições climáticas de cada região e ano de cultivo. Isto ocorre porque o início da receptividade do estigma da noqueira-

pecã ocorre primeiramente, pois é controlado por um gene dominante, mas as condições climáticas podem afetar a expressão de alguns genes da planta ocasionando uma modificação no comportamento das flores e, a cultivar, em vez de apresentar comportamento protogínico, apresenta comportamento protândrico, como no caso das nogueiras-pecã ‘Barton’, ‘Mohawk’ e ‘Shoshoni’ (Wood, 2000).

O período de liberação do pólen e receptividade do estigma (BBCH65) compreendeu entre os dias 17 de outubro e 8 de novembro no ano de 2020 (Figura 2), os dias 19 de outubro e 11 de novembro no ano de 2021 (Figura 3) e 16 de outubro a 6 de novembro no ano de 2022 (Figura 4). A liberação do pólen ocorre quando as anteras são abertas e o mesmo é transportado pelo vento, ou seja, a polinização é anemófila para a noqueira-pecã (Wells, 2017). Durante o estudo, foram observadas temperaturas médias de 19,6 C°, 19,4 C° e 20,1 C° para os anos de 2020, 2021, 2022 respectivamente, e para esse mesmo período, as precipitações pluviométricas acumuladas foram de 100,8 mm, 72,2 mm e 67,8 mm respectivamente (Figura 1). Essas temperaturas indicam uma redução no período de floração, com a elevação dessas temperaturas, bem como, da diminuição do aporte de água, proveniente das precipitações, como foi observado nas safras 2021 e 2022. Portanto, em períodos quentes e secos e com ventos fortes durante esse período podem antecipar e encurtar a liberação do pólen, enquanto períodos frios e úmidos podem retardar e alongar a liberação do pólen (Peng et al., 2015; Han et al., 2018). No momento da polinização a precipitação é relativamente importante, podendo interferir de modo a reduzir a qualidade da polinização (Martins et al., 2019).

Neste estudo, no ano de 2020, durante a avaliação do período de floração (BBCH54) as cultivares que apresentaram ciclo de floração precoce, iniciando a floração em 17 de outubro, foram a Desirable (protogínica) e Mohawk (protândrica) e a cultivar tardia foi a Jackson, tendo por início da floração o dia 24 de outubro. A cultivar que apresentou ciclo

mais longo foi a Stuart (21 dias) e a Barton de ciclo curto com período de floração de 15 dias. Em 2021, houve precocidade para a Jackson, iniciando o ciclo de floração no dia 19 de outubro, e as cultivares tardias foram Barton, Desirable e Stuart, tendo por início o dia 27 de outubro. A Success apresentou ciclo longo de floração (19 dias) e a Elliot com ciclo curto (11 dias). Para o ano de 2022, observou-se precocidade para a cultivar Desirable iniciando a floração no dia 15 de outubro e floração tardia para a Barton, tendo por início o dia 27 de outubro. A cultivar que apresentou ciclo longo foi a Stuart (19 dias) e a cultivar de ciclo curto para esse período de avaliação foi a Barton (10 dias).

A cultivar Barton obteve pólen das cultivares Desirable, Elliot, Jackson, Mohawk, Stuart e Success na safra de 2021 (Figura 2). Na safra 2022, a Barton apresentou a possibilidade de receber pólen de todas as cultivares polinizadoras (Figura 3). Na safra de 2023, a ‘Barton’ foi polinizada por todas as cultivares polinizadoras, com exceção da ‘Elliot’ (Figura 4). Segundo Borda et al. (2020) a sobreposição da floração em todas as cultivares pode garantir a polinização cruzada, e por consequência, a possibilidade de obtenção de maiores rendimentos e melhor qualidade de noz. A cultivar Barton é utilizada como cultivar principal, sendo plantada em mais de 80% dos pomares do Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná (Hamann et al., 2018).

Verificou-se no ano de 2021, maior produção por planta na cultivar Elliot, mas, sem diferir estatisticamente da Barton, Shoshoni e Desirable (Tabela 2). No ano de 2022, maior produção foi observado para a cultivar Barton, não diferindo-se da Elliot e Success. No ano de 2023, as cultivares Barton e Elliot obtiveram os maiores valores de produção por planta. De modo geral, pode-se observar que nas três safras estudadas, duas cultivares destacaram-se no quesito produção por planta, a Barton e a Elliot. Esses resultados corroboram com Casagrande et al. (2023) que verificaram em seis safras avaliadas que a cultivar Barton se destacou com elevados valores de produção.

Durante o estudo, nas três safras avaliadas, a produção mínima registrada foi de 3,85 Kg por planta, e a máxima foi de 9,47 Kg por planta (Tabela 2). Conforme citado por Bilharva et al. (2018) a produtividade das plantas no RS é estimado entre 600 e 1000 Kg por planta. Vidal & Pintos (2013) relatam não haver homogeneidade nos quilos colhidos por planta, o mínimo registrado foi de 3,6 Kg e o máximo de 18,7 Kg, com média de 8,8 Kg. Nas safras de 2021 a cultivar Elliot obteve maior produção com 7,48 Kg por planta. Nas safras de 2022 e 2023 a ‘Barton’ apresentou melhores resultados com 9,47 Kg por planta e 8,33 Kg por planta (Tabela 2). Em conformidade com os resultados de produtividade, as cultivares Barton e Elliot obtiveram maiores resultados para produção acumulada, aditando os valores de produtividade das três safras avaliadas, com 4,61 kg/ha e 4,37 kg/ha, respectivamente (Tabela 3).

O rendimento da amêndoa no ano de 2021 foi maior para a cultivar Barton, não diferindo-se da cultivar Shoshoni (Tabela 2). No ano de 2022, verificou-se novamente a Barton, seguida pelas cultivares Elliot e Jackson. No ano de 2023, observou-se maior rendimento da cultivar Barton e Elliot, porém, não diferiu significativamente das cultivares Jackson, Shoshoni e Stuart. O rendimento da amêndoa, o qual refere-se à relação da massa total do fruto e a massa de amêndoa apresentou nas três safras avaliadas maiores valores para a Barton. Estes resultados corroboram com os resultados de Hamann et al. (2018) que apresenta ‘Barton’ com rendimento de amêndoa de 52% e a ‘Shoshoni’ 48%.

O rendimento é um critério fundamental da qualidade das nozes, sendo um fator preponderante na definição da cultivar a ser manejada e explorada em determinada região.

Quanto maior a porcentagem de rendimento das nozes, maior é seu ganho, pois a amêndoa da noz tem maior enchimento durante o seu desenvolvimento melhorando assim a qualidade de frutos. O rendimento de amêndoa é o principal atributo observado pela indústria para a determinação do preço pago pelo quilograma das nozes, sendo desejável a escolha por

cultivares que tenham a característica de alcançar (no mínimo) 50% ou mais de amêndoa (Hamann et al., 2018).

4. Conclusões

1. As cultivares Barton, Elliot, Mohawk, Shoshoni, Success apresentaram desenvolvimento fenológico protândrico nas condições de Santana do Livramento.
2. Maior precocidade de floração foi observada na cultivar Desirable e Barton se destacou como cultivar de período de floração tardio entre os anos de avaliação.
3. As cultivares de período curto de floração foram Barton e Elliot, enquanto Desirable, Stuart e Success apresentaram ciclo longo de floração entre os anos avaliados.
4. Maior produção por planta e produtividade foi constatada nas cultivares Barton e Elliot cultivadas em Santana do Livramento, nas três safras.
5. O rendimento de nozes foi maior na cultivar Barton, Elliot e Jackson nas três safras avaliadas.

Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia – FAEM/UFPel para a realização das atividades.

Declaração de conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse.

Referências

BILHARVA, M.G.; MARTINS, C. R.; HAMANN, J. J.; FRONZA, D.; DE MARCO, R.; MALGARIM, M. B. Pecan: from Research to the Brazilian Reality. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.23, p. 1–16, 2018. DOI:[10.9734/JEAI/2018/41899](https://doi.org/10.9734/JEAI/2018/41899)

CASAGRANDA, D. G.; KIRINUS, M. B. M.; MARTINS, C. R.; ETHUR, E. M.;MALGARIM, M. B. Produtividade da noqueira pecã na região de Anta Gorda no Rio Grande do Sul. **Research Society and Development**. v.12, p. 1-10, 2023. DOI: <http://dx.doi.org/10.33448/rsd-v12i1.39574>.

CASAUBON, E. A. **Guía para la plantación de pecan en Argentina**. In: Informe técnico; Proyecto Pecan. s.l., INTA, p. 1-16, 2007.

CROSA, C. F. R.; de MARCO, R.; de SOUZA, R. S.; MARTINS, C. R. Tecnologia de produção de noz-pecã no sul do Brasil. **Revista Científica Rural**, v. 22, n.2, p. 249-262, 2020. DOI: <https://doi.org/10.30945/rcr-v22i2.3170>.

DE MARCO, R. **Fenologia, xenia e irrigação na produção de frutos de noqueira-pecã**. 2020. 88 p. Tese (Doutorado em Ciências) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

DE MARCO, R.; MARTINS, C. R.; BILHARVA, M. G.; HAMANN, J. J.; HERTER, F.G. **Estádios Fenológicos da Nogueira-pecã**. Circular Técnica – 218, Pelotas, 2021. 8 p.

DE MARCO, R.; MARTINS, C.R.; HERTER, F.G.; CROSA, C.F.R.; NAVA, G.A. Ciclo de desenvolvimento da noqueira-pecã – Escala fenológica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, v. 20, p.1-11, 2021. DOI: 10.5965/223811712042021260.

DE MARCO, R.; CROSA, C. F. R.; MARTINS, C. R.; SOUZA, R. S. de; HERTER, F. G. Característica Fenológica de Cultivares de Nogueira-pecã no Uruguai e no Brasil. **Revista Científica Rural**. v.25, p.302-317, 2023.DOI: <https://doi.org/10.29327/246831.25.1-20>.

FERREIRA, D. F. Sisvar: a Guide for its Bootstrap procedures in multiple comparisons. **Ciência e Agrotecnologia**, v.38, p.109-112, 2014.DOI: <https://doi.org/10.1590/S1413-70542014000200001>.

HAN, M.; PENG, F.; MARSHALL, P. Pecan phenology in Southeastern China. **Annals of Applied Biology**, v. 172, p. 160-169, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1111/aab.12408>.

HAMANN, J.J.; BILHARVA, M. G.; BARROS de J.; MARCO de R.; MARTINS, C. R.

Cultivares de nogueira-pecã no Brasil. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 43 p.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados Históricos Anuais.** Disponível em:

<<https://portal.inmet.gov.br/dadoshistoricos>>. Acesso em: 18/07/2023.

KÖPPEN, W; GEIGER, R. **Klimate der Erde.** Gotha: Verlag Justus Perthes. Wallmap 150 cm x 200 cm, 1928.

LIMA, A. D. V. **Caracterização fenológica, produtiva e qualitativa de diferentes genótipos de nogueira-pecã.** 2020. 80 p.Dissertação(Mestrado) – Universidade Federal de Pelotas, Pelotas.

MAPA- Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Cultivares registradas.

Disponível em:

https://sistemas.agricultura.gov.br/snpc/cultivarweb/cultivares_registradas.php Acesso em:

Set. 21 2023.

MARTINS. C. R.; DE MARCO, R.; MEDEIROS, J. C. F.; PORTO, J. A.; BILHARVA, M.

G.; HERTER, F. G. **Aspectos e Critérios Básicos para Implantação de Pomar de**

Nogueira-pecã. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2019. (Comunicado Técnico 365 - Embrapa Clima Temperado).

MARTINS, C. R.; FRONZA, D.; MALGARIM, M. B.; BILHARVA, M. G.; MARCO, R. de;

HAMANN, J. J. Cultura da noz-pecã para a agricultura familiar. In:WOLFF, L. F.;

MEDEIROS, C. A. B. (Ed.). **Alternativas para a diversificação da agricultura familiar de**

base ecológica. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2017. 145 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 443). p. 65-68.

MARTINS, C. R.; CASTRO, C. M.; HELLWIG, C. G.; NAVA, D. E. NAVA, G. HEIDEN,

G. ALBA, J. M. F.; WREGE, M. S.; LAZAROTTO, M.; MALGARIM, M. B.; SOUZA, R. S.

de; FARIAS, R. de M.; DE MARCO, R. **Práticas Básicas do Plantio à Colheita de Noz-pecã**. Circular Técnica-225. Pelotas, 2021. 19 p.

PENG, H. Z.; JIN, Q. Y.; YE, H. L.; ZHU, T. J. A novel in vitro germination method revealed the influence of environmental variance on the pecan pollenviability. **Scientia Horticulturae**, v.181, 43-51. 2015. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.10.057>.

VIDAL, V. T.; PINTOS, V. V. G. **Caracterización de la nuez pecan “*Carya illinoensis*” y sus perspectivas de comercialización en el Uruguay**. 2013. Tesis (título de Ingeniero Agrónomo) - Universidad de La Republica, Montevideo.

WELLS, L. Southeastern Pecan Grower’s Handbook. University of Georgia. 2017. 236p.

WOOD, B.W.; CONNER, P.J.; WORLEY, R.E. Relationship of alternate bearing intensity in pecan to fruit and canopy characteristics. **HortScience**. v.38, p. 361-366, 2003. DOI: <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.38.3.361>.

WOOD, B. Pollination characteristics of pecan trees and orchards. **HortTechnology**. v.1. p.120–126, 2000.

ZHANG, R.; PENG, R.; LI, Y. Pecan production in China. **Scientia Horticulturae**, 197, p.719-727, 2015. Agriculture, 10(12), 618. Doi: <https://doi.org/10.3390/agriculture10120618>.

Tabela 1. Tipo de dicogamia de cultivares de noqueira-pecã nas safras 2021, 2022 e 2023 no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul.

Cultivar	Safrá		
	2021	2022	2023
Barton	Protândrica	Protândrica	Protândrica
Desirable	Protogínica	Protogínica	Protogínica
Elliot	Protândrica	Protândrica	Protândrica
Jackson	Protândrica	Protogínica	Protogínica
Mohawk	Protândrica	Protândrica	Protândrica
Shoshoni	Protândrica	Protrândica	Protândrica
Stuart	Protogínica	Protogínica	Protogínica
Success	Protândrica	Protândrica	Protândrica

Tabela 2. Tabela referente à produção por planta, produtividade e rendimento de amêndoa de cultivares de noqueira-pecã nas safras de 2021, 2022 e 2023 no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul.

Cultivar	Safr		
	2021	2022	2023
Produção por planta (Kg)			
Barton	7,19 ab	9,47 a	8,33 a
Desirable	6,71 ab	6,51 bc	5,67 cd
Elliot	7,48 a	8,15 ab	8,08 a
Jackson	3,85 c	5,29 c	6,63 bc
Mohawk	5,08 bc	7,08 bc	6,97 b
Shoshoni	7,20 ab	5,75 c	6,05 bc
Stuart	6,06 bc	5,35 c	4,89 d
Success	5,09 bc	7,78 ab	6,69 bc
C.V. (%)	21,34	21,45	17,38
Produtividade (Kg.hectare)			
Barton	1,33 ab	1,74 a	1,54 a
Desirable	1,24 ab	1,19 bc	1,04 cd
Elliot	1,38 a	1,50 ab	1,49 a
Jackson	0,71 b	0,97 c	1,22 bc
Mohawk	0,93 bc	1,30 bc	1,28 b
Shoshoni	1,33 ab	1,06 c	1,11 bc
Stuart	1,12 ab	0,98 c	0,90 d
Success	0,94 bc	1,44 ab	1,23 bc
C.V. (%)	21,47	21,59	17,59
Rendimento de amêndoa (%)			
Barton	52,30 a	50,75 a	50,77 a
Desirable	48,95 bc	49,04 c	49,06 b
Elliot	45,40 cd	50,39 ab	50,52 a
Jackson	48,95 b	49,93 abc	49,86 ab
Mohawk	43,99 d	47,24 d	47,44 c
Shoshoni	50,90 ab	49,59 bc	50,15 ab
Stuart	48,46 bc	49,49 bc	49,43 ab
Success	48,44 bc	46,81 d	46,92 c
C.V. (%)	5,55	2,89	2,86

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas distintas na linha e na coluna, para cada variável, diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

Tabela 3. Tabela de produção acumulada referente à soma das produtividades nas safras dos anos de 2021, 2022 e 2023.

	Produção acumulada (Kg.hectare)
Barton	4,61 a
Desirable	3,47 c
Elliot	4,37 b
Jackson	2,90 d
Mohawk	3,51 c
Shoshoni	3,50 c
Stuart	3,00 cd
Success	3,61 c
C.V. (%)	20,21

Médias seguidas de letras iguais não diferem pelo teste de Duncan a 5% de probabilidade ($p \leq 0,05$). Letras minúsculas distintas na linha e na coluna, para cada variável, diferem entre si, pelo teste de Duncan, a 5% de significância.

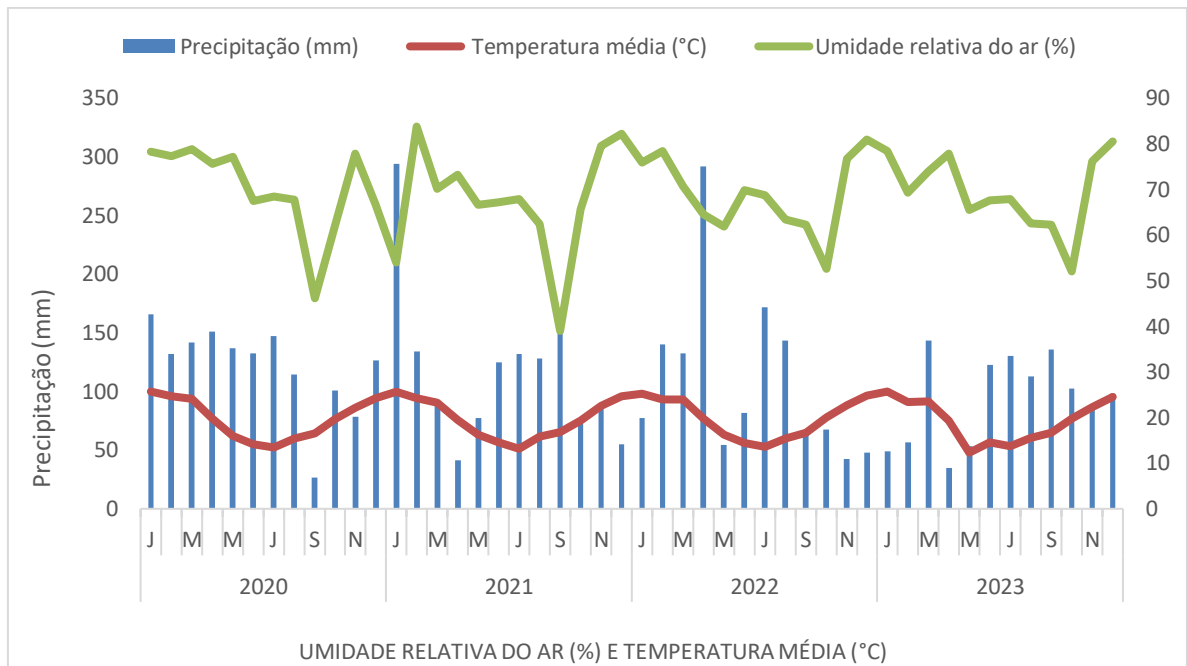


Figura 1. Índices de variáveis climáticas coletadas da estação meteorológica A804 do INMET, localizada no município de Santana do Livramento, RS, nos anos de 2020 a 2023.

Figura 2. Período de floração para cultivares de noqueira-pecã avaliadas no município de Santana do Livramento, RS, 2020.

11.2 Artigo 2

Artigo II: Parâmetros genéticos, ganhos de seleção e associações entre caracteres de *Carya illinoensis* utilizando modelos mistos

**Artigo formatado nas normas da Agrarian (ISSN 1984-2538)*

Resumo: Existe uma grande oferta de cultivares de noqueira-pecã no mercado; contudo, é necessário conhecer as características genéticas das cultivares para selecionar aquelas que melhor se adequem aos diferentes sistemas de cultivo e às condições da região Sul do Brasil. Portanto, o objetivo do presente estudo foi estimar os parâmetros genéticos de cultivares de *Carya illinoensis* utilizando REML e realizar a seleção com base em BLUP, além de testar a associação entre os caracteres vegetativos, produtivos e a qualidade dos frutos. O estudo foi realizado entre as safras de 2020 a 2023 com as cultivares Barton, Desirable, Elliot, Jackson, Mohawk, Shoshoni, Stuart e Success, no município de Santana do Livramento, Rio Grande do Sul. Foram avaliadas as variáveis vegetativas, produtivas e a qualidade das nozes. Os caracteres altura da planta, largura lateral, volume de copa, circunferência do tronco, diâmetro do tronco, raio, área de secção transversal do tronco, produção por planta, rendimento, produtividade, número de frutos presos à cápsula, número de nozes em um quilo, comprimento de noz, largura de noz, comprimento de amêndoa, largura de amêndoa, espessura de casca, massa de amêndoas, massa de casca, massa total e cor apresentaram efeito genotípico significativo. Constatou-se a influência da interação genótipo x ambiente para os caracteres produtivos e de qualidade das nozes. No entanto, esses efeitos não foram observados nos caracteres vegetativos. A produção por planta e a produtividade por hectare apresentaram correlações positivas com a eficiência produtiva em relação ao volume de copa. Assim, o melhoramento genético da noqueira-pecã associado à metodologia da verossimilhança restrita pode ser uma estratégia valiosa para aprimorar a produção e comercialização de nozes.

Palavras-chave: Noqueira-pecã; correlações genéticas; seleção; produtividade.

Abstract: There is a large supply of pecan cultivars on the market; however, it is necessary to know the genetic characteristics of the cultivars to select those that best suit the different cultivation systems and conditions in the southern region of Brazil. Therefore, the objective of the present study was to estimate the genetic parameters of *Carya illinoensis* cultivars using REML and carry out selection based on BLUP, in addition to testing the association between vegetative and productive traits and fruit quality. The study was carried out between

the 2020 and 2023 harvests with the cultivars Barton, Desirable, Elliot, Jackson, Mohawk, Shoshoni, Stuart and Success, in the municipality of Santana do Livramento, Rio Grande do Sul. The vegetative, productive and the quality of the nuts. The characters plant height, lateral width, canopy volume, trunk circumference, trunk diameter, radius, trunk cross-sectional area, production per plant, yield, productivity, number of fruits attached to the capsule, number of nuts in a kilogram, nut length, nut width, almond length, almond width, shell thickness, almond mass, shell mass, total mass and color showed a significant genotypic effect. The influence of the genotype x environment interaction on the productive and quality traits of nuts was verified. However, these effects were not observed in vegetative traits. Production per plant and productivity per hectare showed positive correlations with productive efficiency in relation to canopy volume. Thus, the genetic improvement of pecan associated with the restricted likelihood methodology can be a valuable strategy to improve the production and commercialization of nuts.

Keywords: *Pecan*; genetic correlations; selection; productivity.

1. Introdução

A noqueira-pecã (*Carya illinoensis*) é uma espécie frutífera pertencente à família Juglandaceae, nativa dos Estados Unidos e México, e sua popularização impulsionou o cultivo em vários países de diferentes continentes, incluindo China, África do Sul, Austrália e América do Sul. Na América do Sul, a noqueira-pecã está presente em países como Uruguai, Argentina, Chile, Peru e Brasil (Wells, 2017). Possui um mercado promissor devido ao aumento do consumo diário de nozes, impulsionado pelos benefícios à saúde, bem como pelo considerável valor pago pelo fruto (Boscardin & Costa, 2018; Casagrande, Kirinus, Martins, Erthur, Malgarim, 2023). O cultivo da noqueira-pecã foi introduzido no país por meio de algumas cultivares trazidas do México e dos Estados Unidos e durante esse processo, inúmeras cultivares foram testadas; no entanto, algumas não se adaptaram e foram eliminadas dos pomares (Poletto et al., 2020).

Atualmente, no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), estão registradas 42 cultivares de noqueira-pecã (MAPA, 2023). Devido à vasta oferta de cultivares no mercado, torna-se necessário compreender as características genéticas e as associações entre os caracteres de produtividade e qualidade de frutos. Isso é essencial para selecionar as variedades que possam melhor se adequar aos diferentes sistemas de cultivo e às condições da região Sul do Brasil. As cultivares diferem entre si, apresentando suas próprias características, como hábito de crescimento dos ramos, formato de fruto e produtividade (Hamann, Bilharva, Barros, De Marco, Martins, 2018). Além disso, em relação ao tamanho do fruto, rendimento e qualidade (Poletto, Muniz, Poletto, Baggiotto, 2015).

As cultivares podem ser selecionadas com o objetivo de atender às demandas do mercado, apresentar resistência a doenças e se adaptar às interações impostas pelo ambiente. Dessa forma, a compreensão da variabilidade genética, da herdabilidade e das correlações genéticas entre os caracteres de interesse torna-se fundamental para a seleção de genótipos superiores (Majidi, Mirlohi, Amini, 2009; Fogaça, Oliveira, Cuquel, Vendrame, Tombolato, 2012).

Com este intuito, utilizam-se os modelos mistos que são definidos como aquele que contém efeitos fixos e aleatórios no mesmo modelo, independentemente da média geral e do erro experimental, que são classificados como fixos e aleatórios. Nesta metodologia, é aplicado o procedimento REML/BLUP (máxima verossimilhança restrita e melhor predição linear parcial) ao nível de indivíduos, no qual o REML estima os componentes de variância e o BLUP faz a predição dos valores genéticos (Resende, 2002). Resende (2007) afirma que o teste de razão de verossimilhança (LRT) é mais adequado para a análise de dados desbalanceados, em vez do tradicional teste F empregado no método da análise de variância. A tabela criada pelo LRT, denominada Análise de Deviance (ANADEV), é semelhante à tabela gerada pela análise de variância e estima a qualidade do ajuste entre os dados observados e os gerados pelo modelo de pesquisa.

As principais vantagens do REML/BLUP incluem a possibilidade de correção simultânea dos efeitos ambientais, a capacidade de comparar indivíduos ou variedades ao longo do tempo e espaço, a habilidade de lidar com estruturas complexas de dados, a estimação de componentes de variância, a predição de valores genéticos, e a geração de estimativas e previsões mais concisas (Silva et al., 2017).

Para plantas perenes, a metodologia REML/BLUP é considerada o padrão para análise (Silveira et al., 2022), e vem sendo utilizada em culturas como citros (Capistrano et al., 2021), eucalipto (Garcia & Nogueira, 2005), mamoeiro (Ramos et al., 2014). Portanto, o objetivo do presente estudo foi estimar os parâmetros genéticos de cultivares de *Carya illinoensis* utilizando REML e realizar a seleção com base em BLUP, além de testar a associação entre os caracteres vegetativos, produtivos e a qualidade dos frutos.

2. Material e Métodos

O experimento foi realizado em uma propriedade rural, localizada na Vila Palomas (30°49'38"S55°20'57"W), no município de Santana do Livramento, RS, nos anos de 2021, 2022 e 2023. O pomar foi implantado no ano de 2001, conduzido no espaçamento entrelinhas de 9 metros e entre plantas de 6 metros, totalizando em densidade de 185 plantas.ha⁻¹.

Para a realização do experimento foram utilizadas as cultivares: Barton, Desirable, Elliot, Jackson, Mohawk, Shoshoni, Stuart e Success. O delineamento utilizado foi

inteiramente casualizados com 8 cultivares, sendo cada repetição composta por 10 plantas, totalizando 80 parcelas. Todas as plantas receberam os mesmos tratos culturais com adubação, podas, tratamentos fitossanitários e controle de plantas daninhas, os quais foram realizados no pomar a critério do produtor.

As variáveis avaliadas nas plantas foram: altura; largura lateral e transversal da copa medidas com uma trena a laser Bosch GLM-20; circunferência do tronco mensurada com fita métrica a 1,30 m de altura em relação ao nível do solo correspondente a padronização da circunferência de altura do peito (DAP). Para o parâmetro volume de copa (VC) foi usada a fórmula:

$$VC = \frac{1}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot H$$

Para o diâmetro de tronco (DT):

$$DT = CT / \pi$$

Para o raio (R):

$$R = CT / 2$$

Para a área de secção transversal do tronco (ASTT):

$$ASTT = \pi \cdot r^2$$

Para a eficiência produtiva em relação ao volume de copa (EPVC):

$$EPVC = PP / VC$$

Para a eficiência produtiva em relação à área de secção transversal do tronco (EPASTT):

$$EPASTT = PP / ASTT$$

Para a produtividade (PRODT):

$$PRODT = PP \cdot 185 \text{ (plantas.ha)}$$

O parâmetro produção por planta (kg.planta^{-1}) foi avaliado com a aferição da massa dos frutos de cada planta utilizando uma balança digital com resultados expressos em kg; número de frutos presos à cápsula após a colheita foi realizado por meio da contagem de frutos; quantidade das nozes em 1 kg; rendimento de amêndoa obtido pela relação da massa total do fruto com a massa da amêndoa, expresso em porcentagem; massa total dos frutos; massa da amêndoa; e massa das cascas; aferição em balança digital, e os resultados expressos em gramas (g); tamanho dos frutos e das amêndoas a partir das medidas do comprimento longitudinal e transversal espessura da casca; realizadas com paquímetro digital, e os resultados expressos em milímetros (mm); coloração da amêndoa: realizada de modo visual com utilização de um padrão de quatro classes de cores para determinação da cor da película, segundo o Departamento de Agricultura dos EUA, através do normativo PEC-MC-1.

Para a análise estatística foram realizadas as estimativas dos componentes de variância, predição dos valores genéticos por meio da metodologia de máxima verossimilhança restrita (REML)/melhor predição linear parcial (BLUP). O modelo utilizado é para experimentos em blocos completos ao acaso, um só local, várias colheitas e uma observação por parcela. Assim, o modelo estatístico usado foi:

$$y = X_r + Z_a + W_p + T_i + e$$

Onde: y representa o vetor de dados; r é o vetor dos efeitos de repetição somados à média geral; a é o vetor dos efeitos genéticos aditivos individuais (aleatório); p é o vetor dos efeitos dos gráficos; i representa o vetor dos efeitos da interação genótipo x ambiente, e é o vetor de erros ou resíduos, e X , Z , W e T são as matrizes de incidência para r , a , p e i , respectivamente.

As equações do modelo misto equivalem a:

$$\begin{array}{ccccccc} X'X & X'Z & X'W & X'T & m & X'y & \\ Z'X & Z'Z + I^{-1}\lambda_1 & Z'W & Z'T & q & Z'y & \\ W'X & W'Z & W'W + I^{-1}\lambda_2 & W'T & l & W'y & \\ T'X & T'Z & T'W & T'T + I^{-1}\lambda_3 & i & T'y & \end{array}$$

Onde:

$$\lambda_1 = \frac{1-p}{n} \frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2} = \lambda_2 = \frac{1-p}{c} \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2} = \lambda_3 = \frac{1-p}{p^2} \frac{\sigma_p^2}{\sigma_p^2}$$

A herdabilidade individual no sentido amplo dentro do bloco é dada por $h^2 =$

$$\frac{\sigma_g^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2}$$

A repetibilidade individual no bloco é dada por

$$\rho = \frac{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2}$$

O coeficiente de determinação dos efeitos permanentes da parcela é dado por

$$P^2 = \frac{\sigma_p^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2}$$

A correlação ambiental comum entre parcelas é dada por

$$C^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_g^2 + \sigma_c^2 + \sigma_p^2 + \sigma_e^2}$$

Os estimadores iterativos dos componentes de variância em REML foram obtidos por meio do algoritmo Expectation-Maximization (EM) (Dempster et al., 1977).

$$\hat{\sigma}_e^2 = [y'y - \widehat{m}'X'y - \hat{g}'Z'y - \hat{p}'W'y - \hat{i}'T'y] / [N - r(X)]$$

$$\hat{\sigma}_g^2 = [\hat{g}'I^{-1}\hat{g} + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr}(I^{-1}C^{22})] / q$$

$$\hat{\sigma}_p^2 = [\hat{p}'p + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{33}] / s$$

$$\hat{\sigma}_i^2 = [\hat{i}'i + \hat{\sigma}_e^2 \text{tr } C^{44}] / q$$

Onde C^{22} , C^{33} e C^{44} advém de

$$C^{-1} = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & C_{13} & C_{14} \\ C_{21} & C_{22} & C_{23} & C_{24} \\ C_{31} & C_{32} & C_{33} & C_{34} \\ C_{41} & C_{42} & C_{43} & C_{44} \end{bmatrix}^{-1} = \begin{bmatrix} C^{11} & C^{12} & C^{13} & C^{14} \\ C^{21} & C^{22} & C^{23} & C^{24} \\ C^{31} & C^{32} & C^{33} & C^{34} \\ C^{41} & C^{42} & C^{43} & C^{44} \end{bmatrix}$$

Em que: C = matriz dos coeficientes das equações do modelo misto; tr = operador traço matricial; r(X) = posto da matriz X; N = número total de dados; q = número de indivíduos; s = número de genótipo x colheitas. Os componentes de variância associados aos efeitos do modelo correspondem a:

$\hat{h}_g^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_i^2}$ = herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, ou seja, dos efeitos genotípicos totais;

C_p^2 = coeficiente de determinação dos efeitos de parcela;

$C_{gm}^2 = \frac{\hat{\sigma}_{int}^2}{\hat{\sigma}_i^2}$ = coeficiente para determinação dos efeitos da interação genótipo x medidas;

$r_{gmed} = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{(\hat{\sigma}_g^2 + \hat{\sigma}_{int}^2)}$ = correlação genotípica através de medidas;

$h_{mg}^2 = \frac{\hat{\sigma}_g^2}{\hat{\sigma}_g^2 + \left(\frac{\hat{\sigma}_e^2}{b}\right) + \left(\frac{\hat{\sigma}_c^2}{nb}\right)}$ = herdabilidade da média de genótipo; n: número de parcelas; b: número de blocos

$\hat{r}_{gg} = \sqrt{h_{mg}^2}$ = acurácia na seleção de genótipos

$CV_g (\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_g^2}}{\mu} * 100$ = coeficiente de variação genotípica

$CV_e (\%) = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_c^2}}{\mu} * 100$ = coeficiente de variação ambiental

$$CV_r = \frac{CV_g}{CV_e} = \text{coeficiente de variação relativa}$$

Além disso, a associação entre os caracteres foi estimada pela correlação genética (r), usando os valores genotípicos (médias das cultivares estimadas por BLUP) e apresentada como rede de correlação, usando o ambiente Rbio (BHERING, 2017). Todas as análises foram realizadas usando o aplicativo SELEGEN-REML/BLUP (RESENDE, 2016).

3. Resultados e Discussão

Com base na análise de deviance, foi possível observar que a maioria dos caracteres apresentou efeito genotípico significativo de acordo com o teste da razão da verossimilhança (LRT) a um nível de significância de 5%. Esses resultados são desejáveis e evidenciam que as variações genéticas foram expressivas para a maioria dos caracteres (Tabelas 1, 2 e 3) sinalizando a viabilidade de seleção uma vez que refletem a existência de variabilidade genética entre as cultivares. Nesse contexto, os caracteres vegetativos, produtivos e de qualidade podem ser utilizados isoladamente ou combinados para determinar padrões de diversidade, caracterizar cultivares e identificar plantas com potencial comercial, de acordo com as condições edafoclimáticas.

No entanto, exceções foram observadas nas variáveis largura transversal (LT), eficiência produtiva em relação ao volume de copa (EPVC) e eficiência produtiva em relação à área de secção transversal do tronco (EPASTT), as quais não apresentaram efeito genotípico significativo, contudo, apresentaram efeitos significativos para interação genótipo x ambiente.

Tabela 1. Análise de deviance (ANADEV) de oito cultivares de nogueira-pecã para caracteres vegetativos.

Efeitos	Variáveis							
	ALT	LT	LL	VC	CT	DT	Raio	ASTT
Completo	42.26	-79.94	-70.85	1301.2	634.5	112.6	-202.9	1467.8
Genético	47.13	-77.76	-61.50	1310.0	646.5	124.7	-190.8	1480.5
Ambiente	132.1	-13.56	-20.37	1364.3	1051.1	529.2	213.1	1953.3
Interação (GxA)	42.28	-75.69	-64.72	1303.5	634.5	112.7	-202.8	1468.0
LRT _g	4.87*	2.18 ^{ns}	9.35*	8.74*	12.08*	12.08*	12.09*	12.6*
LRT _m	89.84*	66.38*	50.48*	63.09*	416.6*	416.5*	416.0*	485.4*
LRT _{GxA}	0.02 ^{ns}	4.25*	6.13*	2.26 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.08 ^{ns}	0.07 ^{ns}	0.160 ^{ns}
σ_g^2	0.082	0.029	0.086	44.53	11.68	1.184	0.296	692.4
σ_{perm}^2	0.363	0.171	0.145	97.04	29.82	3.023	0.756	1700.9
σ_{gm}^2	0.001	0.013	0.018	5.805	0.016	0.002	0.000	0.742
σ_e^2	0.194	0.115	0.124	72.28	1.109	0.112	0.028	37.67
σ_f^2	0.641	0.328	0.373	219.6	42.64	4.321	1.080	2.431
H ²	0.128	0.089	0.232	0.203	0.274	0.274	0.274	0.28
P	0.695	0.611	0.620	0.644	0.974	0.974	0.974	0.98
C _{perm} ²	0.567	0.522	0.389	0.442	0.700	0.700	0.699	0.69
C _{gm} ²	0.002	0.040	0.047	0.026	0.000	0.000	0.000	0.00
r _{gmed}	0.986	0.692	0.831	0.885	0.999	0.999	0.999	0.99
h _{mg} ²	0.608	0.485	0.738	0.716	0.791	0.791	0.791	0.80
μ	8.304	6.937	6.485	98.48	47.25	15.04	7.521	180.7
CV _e (%)	5.307	4.881	5.429	8.633	2.228	2.229	2.233	3.39
CV _g (%)	3.450	2.461	4.534	6.776	7.234	7.234	7.235	14.5
CV _r	0.650	0.504	0.835	0.785	3.247	3.246	3.240	4.28

σ_e^2 : variância ambiental; σ_{gm}^2 : variância da interação genótipos x medições; σ_{perm}^2 : variância de ambiente permanente; σ_g^2 : variância genotípica. H²: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, dos efeitos genotípicos totais; p: repetibilidade ao nível de parcela; C_{perm}² = coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; C_{gm}² = coeficiente para determinação dos efeitos da interação genótipos x medidas; r_{gmed} = correlação genotípica através de medidas; h_{mg}² = herdabilidade da média de genótipo; μ: média geral; CV_e = Coeficiente de variação experimental; CV_g = coeficiente de variação genética; CV_r = coeficiente de variação relativo ALT=altura; LT=largura transversal; LL=largura lateral; VC= volume de copa; CT=circunferência de tronco; DT=diâmetro de tronco; ASTT=área de secção transversal do tronco.

Tabela 2. Análise de deviance (ANADEV) de oito cultivares de nogueira-pecã para caracteres produtivos.

Efeitos	Variáveis						
	EPVC	EPASTT	PP	RR	PRODT	NFP	NN
Completo	-1432.1	-1713.5	565.7	601.7	-208.0	1586.7	1299.2
Genético	-1429.6	-1710.2	573.2	612.8	-199.9	1597.8	1309.9
Ambiente	-1430.1	-1687.9	566.2	613.6	-207.6	1586.8	1299.3
Interação (GxA)	-1425.8	-1704.04	570.0	631.8	-204.1	1587.0	1465.1
LRT _g	2.57 ^{ns}	3.25 ^{ns}	7.520*	11.100*	8.120*	11.07*	10.69*
LRT _m	2.07 ^{ns}	25.52*	0.550 ^{ns}	11.880*	0.350 ^{ns}	0.04 ^{ns}	0.10 ^{ns}
LRT _{GxA}	6.30	9.46*	4.290*	30.140*	3.860*	0.30 ^{ns}	165.8*
σ_g^2	0.000	0.000	1.076	1.231	0.038	114.54	402.8
σ_{perm}^2	0.000	0.000	0.178	0.642	0.005	5.838	1.476
σ_{gm}^2	0.000	0.000	0.356	1.349	0.011	9.272	167.1
σ_e^2	0.000	0.000	3.204	3.621	0.107	359.51	63.72
σ_f^2	0.000	0.000	4.814	6.842	0.160	489.16	635.2
H ²	0.111	0.129	0.224	0.180	0.235	0.234	0.634
P	0.193	0.419	0.260	0.274	0.264	0.246	0.637
C _{perm} ²	0.081	0.290	0.037	0.094	0.029	0.012	0.002
C _{gm} ²	0.107	0.093	0.074	0.197	0.069	0.019	0.263
r _{gmed}	0.509	0.582	0.751	0.477	0.772	0.925	0.707
h _{mg} ²	0.522	0.562	0.727	0.601	0.742	0.773	0.868
μ	0.067	0.038	6.509	48.88	1.196	59.41	119.03
CV _e (%)	26.88	26.66	27.50	3.892	27.30	31.91	6.706
CV _g (%)	10.68	13.71	15.93	2.269	16.19	18.01	16.86
CV _r	0.397	0.514	0.580	0.583	0.593	0.564	2.514

σ_e^2 : variância ambiental; σ_{gm}^2 : variância da interação genótipos x medições; σ_{perm}^2 : variância de ambiente permanente; σ_g^2 : variância genotípica. H²: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, dos efeitos genotípicos totais; p: repetibilidade ao nível de parcela; C_{perm}² = coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; C_{gm}² = coeficiente para determinação dos efeitos da interação genótipos x medidas; r_{gmed} = correlação genotípica através de medidas; h_{mg}² = herdabilidade da média de genótipo; μ: média geral; CV_e = Coeficiente de variação experimental; CV_g = coeficiente de variação genética; CV_r = coeficiente de variação relativo ALT=altura; LT=largura transversal; LL=largura lateral; VC= volume de copa; CT=circunferência de tronco; DT=diâmetro de tronco; ASTT=área de secção transversal do tronco.

Tabela 3. Análise de deviance (ANADEV) de oito cultivares de nogueira-pecã para caracteres de qualidade.

Efeitos	Variáveis								
	CN	LN	CA	LA	EC	MA	MC	MT	COR
Completo	859.9	209.3	684.5	191.0	-991.6	24.9	25.20	319.1	-130.5
Genético	877.6	224.3	700.1	203.9	-969.0	33.7	39.99	330.5	-94.00
Ambiente	859.9	217.9	684.6	195.4	-989.2	26.0	25.67	319.3	-130.5
Interação (GxA)	880.8	299.0	705.0	313.9	-950.1	78.190	80.28	392.3	-130.5
LRT _g	17.6*	15.01*	15.62*	12.89*	22.66*	8.88*	14.79*	11.41*	36.55*
LRT _m	0.04 ^{ns}	8.55*	0.12 ^{ns}	4.39*	2.41 ^{ns}	1.15 ^{ns}	0.47 ^{ns}	0.16 ^{ns}	0.01 ^{ns}
LRT _{GxA}	20.8*	89.6*	20.52*	122.8*	41.4*	53.28*	55.08*	73.20*	0.01 ^{ns}
σ_g^2	22.7	2.84	11.00	2.879	0.014	0.435	0.845	2.728	0.338
σ_{perm}^2	0.153	0.131	0.141	0.081	0.000	0.022	0.013	0.028	0.002
σ_{gm}^2	3.656	0.713	2.150	0.918	0.002	0.205	0.207	0.983	0.001
σ_e^2	11.022	0.477	5.620	0.451	0.003	0.250	0.253	0.943	0.153
σ_f^2	37.599	4.167	18.912	4.329	0.019	0.912	1.318	4.683	0.494
H ²	0.606	0.683	0.582	0.665	0.754	0.478	0.641	0.583	0.683
P	0.610	0.714	0.589	0.684	0.771	0.501	0.651	0.589	0.688
C _{perm} ²	0.004	0.031	0.007	0.019	0.018	0.024	0.010	0.006	0.004
C _{gm} ²	0.097	0.171	0.114	0.212	0.088	0.224	0.157	0.210	0.002
r _{gmed}	0.862	0.800	0.836	0.758	0.896	0.680	0.803	0.735	0.997
h _{mg} ²	0.914	0.907	0.902	0.891	0.946	0.827	0.902	0.870	0.962
μ	43.02	24.12	33.89	19.31	1.040	4.491	4.784	9.365	3.814
CV _e (%)	7.716	2.864	6.994	3.477	4.973	11.13	10.52	10.37	10.26
CV _g (%)	11.09	6.994	9.785	8.783	11.50	14.69	19.21	17.63	15.23
CV _r	1.437	2.442	1.399	2.526	2.313	1.320	1.826	1.701	1.484

σ_e^2 : variância ambiental; σ_{gm}^2 : variância da interação genótipos x medições; σ_{perm}^2 : variância de ambiente permanente; σ_g^2 : variância genotípica. H²: herdabilidade de parcelas individuais no sentido amplo, dos efeitos genotípicos totais; p: repetibilidade ao nível de parcela; C_{perm}² = coeficiente de determinação dos efeitos de parcela; C_{gm}² = coeficiente para determinação dos efeitos da interação genótipos x medidas; r_{gmed} = correlação genotípica através de medidas; h_{mg}² = herdabilidade da média de genótipo; μ: média geral; CV_e = Coeficiente de variação experimental; CV_g = coeficiente de variação genética; CV_r = coeficiente de variação relativo ALT=altura; LT=largura transversal; LL=largura lateral; VC= volume de copa; CT=circunferência de tronco; DT=diâmetro de tronco; ASTT= área de secção transversal do tronco.

De maneira geral, foi observada a influência da interação genótipo x ambiente nos caracteres produtivos e de qualidade das nozes, enquanto esses efeitos não foram observados nos caracteres vegetativos (Tabelas 1, 2 e 3). Capistrano et al. (2015) em seu estudo com laranjeiras, destacam essa interação como indesejável para o melhorista devido à dificuldade em prever o comportamento dos genótipos em relação às mudanças no ambiente, que podem levar a desempenhos diferentes em cada ano de produção.

Os caracteres vegetativos, como altura das plantas, circunferência do tronco, diâmetro do tronco, raio e ASTT, não apresentaram interação GxA, mas, efeitos significativos para o efeito ano (Tabela 1), evidenciando que as condições edafoclimáticas específicas são um dos componentes que determinam os resultados de cada cultivar (Ferrari et al., 2022). As condições climáticas influenciam diretamente no desenvolvimento vegetativo da nogueira-pecã; por exemplo, a intensidade de chuvas em períodos críticos,

como o de florescimento, pode prejudicar a polinização e, próximos aos estádios de enchimento da noz, torna-se crucial para a produtividade (Casagrande et al., 2023). A interação genótipo x ambiente diz respeito ao desempenho relativo de um genótipo em relação a outros quando cultivados em diferentes ambientes (Borém et al., 2021). Essa interação tem sido um desafio significativo, pois o desempenho ótimo de um genótipo em um ambiente específico pode não ser replicado em outro ambiente (Cruz, Regazzi, Carneiro, 2012), dificultando assim a recomendação de cultivares.

Em geral, pode-se notar que as características produtivas, como produção por planta (PP), produtividade (PRODT) e número de frutos preso à cápsula (NFP), não apresentaram efeito significativo em relação ao ano, o que evidencia uma forte influência genética para esses caracteres de produção (Tabela 2). Esses dados corroboram com Bilharva et al. (2018) e Casagrande et al. (2023). No estudo conduzido por Casagrande et al. (2023), foram identificadas diferenças significativas na produção de diferentes cultivares de noqueira-pecã.

Observou-se uma forte influência do ambiente nos caracteres de qualidade das nozes (Tabela 3). Na literatura, são relatadas diferenças na qualidade e nas características morfológicas das nozes de acordo com o local de cultivo. Por exemplo, foram identificadas diferenças no Brasil (Poletto et al., 2020), China (Hou et al., 2014) e Estados Unidos (Wells & Conner, 2015). Essas divergências de resposta entre diferentes locais são atribuídas às variações climáticas e às características do solo, que podem limitar ou potencializar a expressão genotípica. Ao escolher cultivares adequadas para os sistemas de produção da região sul do Brasil, é crucial considerar principalmente as seguintes características: rendimento da amêndoa, tamanho da noz, espessura da casca e coloração da amêndoa (Hamann et al., 2018).

Os coeficientes de variação experimental (CV_e) variaram de 2,23% a 31,91% para os caracteres Raio e número de frutos presos à cápsula (NFP), respectivamente (Tabelas 1 e 2). O coeficiente de variação experimental é uma das medidas estatísticas mais utilizadas pelos pesquisadores na avaliação de precisão dos experimentos. Em relação ao coeficiente de variação de NFP de 31,91% conforme sugerido por Costa (2008), valores altos para coeficiente de variação desta são aceitáveis nas condições desta avaliação por ser quantitativa. Observou-se então, que esses caracteres foram intensamente influenciados pelo ambiente. Por outro lado, os coeficientes de variação genética (CV_g) variaram de 2,26% a 19,01%, para os caracteres rendimento (RR) e massa de casca (MC), respectivamente (Tabelas 2 e 3). Os coeficientes de variação genética demonstram a variabilidade genética existente na população para cada caráter (Santos, Spehar, Capone, Pereira, 2018). Em relação ao rendimento indica que, entre todos os caracteres estudados, é o que mostra maior variabilidade, sendo altamente promissor para a realização da seleção, de acordo com Ubi, Mignouna, Obigbesan (2007).

Quanto ao coeficiente de variação relativo (CV_r), os caracteres circunferência de tronco (CT), diâmetro de tronco (DT) e Raio apresentaram um coeficiente de variação genético (CV_g) mais proeminente do que o coeficiente de variação experimental (CV_e). Isso demonstra que, para esses caracteres, os efeitos genéticos têm uma influência predominante, indicando uma situação favorável para ganhos genéticos por meio da seleção entre as cultivares com base nesses caracteres.

Após a obtenção dos componentes de variância, foram estimados outros parâmetros, como a herdabilidade no sentido amplo (H^2), a qual variou de 0,08 a 0,75 para os caracteres LT e EC, respectivamente (Tabela 3). De acordo com Brogin, Arias e Toledo (2003), valores de herdabilidade ampla são considerados baixos quando são inferiores a 0,30, intermediários entre 0,30 e 0,60, permitindo ganhos genéticos através da seleção, e altos quando superiores a 0,60. Conforme Santos et al. (2018), valores altos de herdabilidade indicam que métodos de seleção simples podem levar a ganhos significativos, presumindo que o ambiente apresenta pouca influência.

A repetibilidade ao nível de parcela (ρ) variou de 0,19 a 0,98 para os caracteres EPVC e ASTT, respectivamente (Tabela 1). Baixos valores de repetibilidade indicam a necessidade de um grande número de repetições para se alcançar um valor de determinação satisfatório (Pereira et al., 2013). O conhecimento sobre o coeficiente de repetibilidade das características de interesse permite avaliar o tempo necessário para que a seleção de indivíduos geneticamente superiores seja feita com a acurácia desejada (Bruna, Moreto, Dalbó, 2012).

A PP e a PRODT apresentaram correlação positiva com a eficiência produtiva com relação ao EPVC, com valores de ($r = 0,99$, $p < 0.01$) e ($r = 0,87$, $p < 0.01$) (Figura 1). Esse resultado demonstra a interação desses caracteres, uma vez que produção e produtividade estão intimamente interligados, sendo que para estimar a produtividade multiplica-se a quantidade colhida em quilos pelo número de plantas por hectare, e a eficiência produtiva em relação ao volume de copa sugere que quanto menor a extensão da copa, menor o vigor e maior será a produção de frutos, pois há um acentuado antagonismo entre esses parâmetros. Conforme Brugnara & Sabião (2020) alguns caracteres, como o volume de copa, são afetados por diferenças edafoclimáticas o que ocasiona um crescimento diferenciado para cada localidade, mostrando a importância de pesquisas em cada região.

EC: espessura de casca; MA: massa de amêndoa; MC: massa de casca; MT: massa total; LA: largura de amêndoa; LN: largura de noz; CA: comprimento de amêndoa; CN: comprimento de noz; COR: cor; NN: números de nozes em um quilo; NFP: número de frutos presos à cápsula; RR: rendimento; PP: produção por planta; PRODT: produtividade; ALT: altura de planta; LL: largura lateral; LT: largura transversal; VC: volume de copa; DT: diâmetro de tronco; CT: circunferência de tronco; RAI: raio; EPA: eficiência produtiva em relação a área de secção transversal do tronco; EPV: eficiência produtiva em relação ao volume de copa.

Contudo, a PP apresentou correlações negativas não significativas para a maioria dos caracteres, com exceção do rendimento ($r = 0,33$, $p < 0.01$) e do número de nozes por quilo ($r = 0,44$, $p < 0.01$), que resultaram em correlações positivas, não significativas. Observou-se que a produção por planta condicionou bom preenchimento de amêndoas e conseqüentemente um bom rendimento de nozes. Quantidade excessiva de frutos por planta pode resultar em frutos menores e mal preenchidos. Desta forma, sugere-se que houve razoável quantidade de nozes por quilo. As magnitudes dos coeficientes de correlação podem ser classificadas segundo Silveira et al. (2021), onde $r = 0$ foi considerado nulo; $r = 0$

a 0,30 foi considerado fraco; $r = 0,30$ a $0,60$ foi considerado médio; $r = 0,60$ a $0,90$ foi considerado forte; $r = 0,90$ a 1 foi considerado muito forte e $r = 1$ foi considerado perfeito.

O caractere RR demonstrou correlações negativas significativas com NFP ($r = -0,75$), EC ($r = -0,98$) e COR ($r = -0,81$). Produção excessiva de frutos por planta exige grande quantidade de recursos (água e nutrientes) para se desenvolverem podendo ocasionar redução no rendimento de amêndoas (Martins et al., 2021). Quanto à espessura da casca, frutos com casca fina são apreciados pelos produtores, pois favorecem o processo de beneficiamento (Poletto et al., 2012). O caráter COR não apresenta relação direta com o rendimento, visto que a coloração da amêndoa não influencia diretamente no preenchimento das amêndoas. Os caracteres circunferência de tronco (CT) e diâmetro de tronco (DT) apresentaram os mesmos resultados, com correlações positivas significativas para os caracteres diâmetro de tronco (DT) ($r = 0,100$, $p < 0,01$), RAIO ($r = 0,100$, $p < 0,01$) e ASTT ($r = 0,100$, $p < 0,01$), além de correlações negativas significativas com LN ($r = -0,78$) e LA ($r = -0,73$). O caractere DT demonstrou o mesmo resultado para RAIO ($r = 0,100$, $p < 0,01$). Notadamente, observou-se a relação entre os caracteres vegetativos, todos de mesma magnitude demonstrando forte ligação.

O caractere MA (massa de amêndoas) apresentou correlações positivas com os caracteres MC ($r = 0,96$, $p < 0,01$) e MT ($r = 0,98$, $p < 0,01$), ambas significativas (Figura 1). A massa de amêndoas tem relação direta com a massa da casca e a massa total, pois, quanto menor for o peso das cascas, maior será o peso da massa das amêndoas.

A seleção com base nas estimativas de ganhos genéticos preditos via BLUP permitiu a classificação dos três melhores genótipos abrangendo cerca de 37,5% dos genótipos avaliados (Tabela 4). Para o caráter produção por planta, os ganhos genéticos variaram de 0,17 a 1,48 g por planta, com destaque para a cultivar Barton, que elevou a nova média em 79,9% (Tabela 4). Quanto ao caráter rendimento (RR), os ganhos genéticos variaram de 0,19 a 1,39 g por planta, com o maior incremento observado na cultivar Barton, elevando a nova média em 50,2% (Tabela 4). A produtividade (PRODT) apresentou ganhos genéticos variando entre 0,03 e 0,28 g por planta, elevando a média em 14,7% (Tabela 4). Esses resultados corroboram com Casagrande et al (2023) onde a variedade Barton se destacou com elevados valores de produção demonstrando a superioridade da cultivar. Além da 'Barton' puderam ser selecionados dois outros genótipos conforme o caractere produção por planta, 'Elliot' e 'Shoshoni'. A cultivar Elliot apresentou ganho genético de 1,30 g por planta, elevando a média em 78,1%, e 'Shoshoni' com ganho genético de 0,86 g por planta, elevando a média em 73,7%. 'Elliot' e 'Success' apresentaram os melhores resultados para produtividade, com valores de 0,24 g por planta e 0,16 g por planta, respectivamente, elevando a média em 14,7% e 14,4%. Neste sentido, 'Elliot' e 'Shoshoni' poderiam substituir a cultivar Barton tendo como objetivo ganho em produção e 'Elliot' e 'Success',

ganhos em produtividade. O caráter rendimento destacou os melhores desempenhos para as cultivares Shoshoni e Jackson, além da 'Barton'. A 'Shoshoni' apresentou ganho genético de 1,14 g por planta, elevando a média em 50%, e a 'Jackson' com ganho de 0,86 g por planta, elevou a média em 49,7%. Esse resultado demonstra que essas cultivares podem ser selecionadas para elevar os ganhos relativos ao rendimento de nozes.

Tabela 4. Estimativas do ganho genético predito (BLUP) para os caracteres de produção, produtividade e rendimento em *Carya illinoensis* considerando o desempenho médio dos anos de experimento.

PP					
Cultivares	g	u+g	Ganho	$\bar{X}_{new}$	u+g+gem
1	1.477	7.99	1.477	79.9	8.157
3	1.133	7.646	1.305	78.1	7.775
6	0.017	6.495	0.864	73.7	6.493
PRODT					
Cultivares	g	u+g	Ganho	$\bar{X}_{new}$	u+g+gem
1	0.281	1.477	0.281	14.77	1.504
3	0.213	1.409	0.247	14.43	1.430
8	0.0097	1.205	0.168	13.64	1.206
RR					
Cultivares	g	u+g	Ganho	$\bar{X}_{new}$	u+g+gem
1	1.396	5.028	1.396	50.2	5.079
6	0.885	4.978	1.140	50.0	5.002
4	0.302	4.918	0.861	49.7	4.929

g: efeitos genotípicos; u + g: valores genotípicos preditos, livres de toda interação com anos; G: ganho; $\bar{X}_{new}$: nova média; u + g + gem: valor genotípico médio nos anos estudados e capitaliza uma interação média com todos. *Ordem: (1) Barton, (2) Desirable, (3) Elliot, (4) Jackson, (5) Mohawk, (6) Shoshoni, (7) Stuart, e (8) Success.

As áreas de plantio de noqueira-pecã têm aumentado na região sul do Brasil. Dessa forma, a necessidade de cultivares com características superiores de interesse comercial sustenta a conservação de uma ampla gama de variabilidade morfológica, química e genética da espécie (POLETTTO et al., 2020; FERRARI et al., 2022). A introdução dessa espécie no Brasil foi baseada em um número reduzido de cultivares e plantas. Ao longo dos anos de cultivo no sul do Brasil, os genótipos mais promissores, produtivos e resistentes às condições climáticas e edáficas da região foram selecionados, propagados e preservados (POLETTTO et al., 2020). O melhoramento genético da noqueira-pecã pode ser uma estratégia valiosa para aprimorar a produção e o rendimento das nozes. Os resultados evidenciam a importância de considerar os efeitos genéticos e ambientais de forma integrada ao selecionar cultivares e estratégias de manejo, buscando criar condições mais favoráveis, tanto para qualidade quanto para quantidade da produção de noqueira-pecã.

4. Conclusão

As variações genéticas foram expressivas para os caracteres vegetativos, produtivos e de qualidade de nozes sinalizando viabilidade de seleção.

O ambiente exerce forte influência na qualidade das nozes.

Os caracteres produtivos e de qualidade de nozes estão sujeitos aos efeitos da interação genótipo e ambiente.

A produção, produtividade e eficiência produtiva em relação ao volume de copa apresentaram correlação demonstrando forte interação.

As cultivares Elliot, Shoshoni e Success apresentaram bons resultados para aumentar a produção por planta e para incremento em produtividade.

Shoshoni e Jackson podem ser selecionadas para aumento do rendimento de nozes.

5. Referências

Beltrame, R.; Mattos, B. D.; Gatto, D. A.; Lazarotto, M.; Haselein, C. R.; Santini E.J. Resistência ao impacto da madeira de nogueira-pecã em diferentes condições de umidade. *Ciência Rural*, 42(9): 1583-1587. DOI:<https://doi.org/10.1590/S0103-84782012005000060>.

Bhering, L.L. *Rbio: A Tool For Biometric And Statistical Analysis Using The R Platform*. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v.17, p.187-190, 2017.

Bilharva, M. G.; Martins, C. R.; Hamann, J. J.; Fronza, D.; De Marco, R; Malgarim, M. B. *Pecan: from Research to the Brazilian Reality*. Journal of Experimental Agriculture International, v.23 n.6. p. 1–16. 2018.

Borém, A.; Miranda, G. V.; Fritsche-Neto, R. F. *Melhoramento de Plantas*. 8. ed. São Paulo: Oficina de Textos, p.106, 2021.

Boscardin, J.; Costa, E. C. *A nogueira-pecã no Brasil: Uma revisão entomológica*. Ciência Florestal, v.28, n.1, p. 456-468, 2018.

Brogini, R. L, Arias, C. A. A.; Toledo, J. F. F. de. *Controle genético da resistência da soja à mancha parda (Septoriaglycines): primeiros estudos*. Melhoramento de culturas e biotecnologia aplicada, 3(1), 35-44, 2003.

Brugnara, E.C.; Sabião, R.R. *Performance of early mandarins grafted on Carrizo citrange and Swingle citrumelo*. Citrus, v.41, e1058, 2020.

Bruna, E. D.; Moreto, A.L.; Dalbó, M. A. *Uso do coeficiente de repetibilidade na seleção de clones de pessegueiro para o litoral sul de Santa Catarina*. Revista Brasileira de Fruticultura, v.34, p.206- 215, 2012. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452012000100028>

Casagrande, D. G.; Kirinus, M. B. M.; Martins, C. R.; Ethur, E. M.; Malgarim, M. B. *Produtividade da noqueira pecã na região de Anta Gorda no Rio Grande do Sul*. Research, Society and Development, v. 12, n. 1, e24912139574, 2023.

Cruz, C.D.; Regazzi, A.J.; Carneiro, P.C.S. *Modelos biométricos aplicados ao melhoramento genético*. 3.ed. Viçosa: Ed. da UFV, 2012. 480p.

Faville, M.J.; Ganesh, S.; Cao, M.; Jahufer, M.Z.Z.; Bilton, T.P.; Easton, H.S.; Ryan, D.L.; Trethewey, J.A.K.; Rolston, M.P.; Griffiths, A.G.; Moraga, R.; Flay, C.; Schmidt, J.; Tan, R.; Barrett, B.A. *Predictive ability of genomic selection models in a multi-population perennial ryegrass training set using genotyping-by-sequencing*. Theor Appl Genet, v. 131, p. 703–720. 2017.

Ferrari, V.; GIL, G.; Heinzen, H.; Zoppolo, R.. Ibáñez, F. *Influence of Cultivar on Nutritional Composition and Nutraceutical Potential of Pecan Growing in Uruguay*. Nutrition and Food Science Technology, v. 9, p. 868054 2022.

Fogaça, L. A.; Oliveira, R. A.; Cuquel, F. L.; Vendrame, W. A.; Tombolato, A. F. C. *Heritability and genetic correlation in daylily selection*. Euphytica, v. 184, n. 3, p. 301-310, 2012.

Hamann, J.J.; Bilharva, M. G.; Barros de J.; De Marco, R.; Martins, C. R. *Cultivares de noqueira-pecã no Brasil*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 43 p.

Hou, L.Q.; Shi, Y.; Zhao, D.C.; Han, C.M.; Liu, B.H. *Analysis of the morphology and structural characteristics of 'Jjizhaomian' walnut nut*. Acta Horticulturae, v. 1050, p. 75-80, 2014.

Majidi, M. M.; Mirlohi, A.; Amini, F. *Genetic variation, heritability and correlations of agro-morphological traits in tall fescue (Festuca arundinacea Schreb.)*. Euphytica, v. 167, n. 3, p. 323-331, 2009.

Martins, C.R.; Castro, C. M.; Hellwig, C.G.; Nava, D.E.; Nava, G.; Heiden, G.; Alba, J. M. F.; Wrege, M. S.; Lazarotto, M.; Malgarim, M. B.; Souza, R. S. de; Farias, R. de M.; De Marco,

R. *Práticas básicas do plantio à colheita de noz-pecã*. Pelotas: Embrapa. Circular técnica 225, 2021. 18 p.

Martins, C. R.; Conte, A.; Fronza, D.; Filippini Alba, J. M.; Hamann, J. J.; Bilharva, M. G.; Malgarim, M. B.; Farias, R. de M.; De Marco, R.; Reis, T. S. *Situação e perspectiva da noqueira-pecã no Brasil*. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 31 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 462).

Pereira, T. B.; Carvalho, J. P. F.; Botelho, C. E.; Resende, M. D. V. de; Rezende, J. C. de; Mendes, A. N. G. *Eficiência da seleção de progênies de café F_4 pela metodologia de modelos mistos (REML/BLUP)*. Bragantia, Campinas, v. 72, n. 3, p.230-236, 2013.

Poletto, T.; Poletto, I.; Moraes Silva, L.M.; Brião Muniz, M.F.; Silveira Reiniger, L.R.; Richards, N.; STefenon, V.M. *Morphological, chemical and genetic analysis of southern Brazilian pecan (Carya illinoensis) acessions*. Scientia Horticulturae, v. 261, p. 108863, 2020.

Poletto, T., Muniz, M.F.B., Poletto, I., Baggiotto, C. *Methods for overcome dormancy of pecan Carya illinoensis (Wangenh.) K. Koch seeds*. Revista Árvore, v.39, 2015.

Poletto, T.; Lazarotto, M.; Baggiotto, C.; Muniz, M. F. B.; Poletto, L.; Hamann, J. J.; Maciel, C. G.; Walker, C. *Análise de características dos frutos de cultivares de Nogueira-pecã cultivadas no Rio Grande do Sul*. Simpósio De Ensino, Pesquisa E Extensão, v. 16, 2012.

Resende, M.D.V. *Software Selegen-REML/BLUP: a useful tool for plant breeding*. Crop Breeding and Applied Biotechnology, v. 16, p. 330-339, 2016.

Resende, M. D. V.; Duarte, J.B. *Precisão e controle de qualidade em experimentos de avaliação de cultivares*. Pesquisa Agropecuária Tropical, Goiania, v.37, p. 182-194, set, 2007.

Resende, M. D. V. *Genética biométrica e estatística no melhoramento de plantas perenes*. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2002. 975 p.

Rodrigues, W.P.; Vieira, H.D.; Barbosa, D.H.; Souza Filho, G.R.; Candido, L.S. *Adaptability and genotypic stability of Coffea arábica genotypes based on REML/BLUP analysis in Rio de*

Janeiro State, Brazil. *Genetics and Molecular Research*, v.12, p. 2391-2399, 2013. DOI: 10.4238/2013.July.15.2.

Santos, E. R.; Spehar, C. R.; Capone, A.; Pereira, P. R.; *Estimativa de Parâmetros de Variação Genética em Progenies F₂ de Soja e Genitores com Presença e Ausência de Lipoxigenases*. *Nucleus*, v.15,n.1,abr.2018.

Silva, V. B.; Daher, R. F.; Souza, Y. P.; Cassaro, S.; Menezes, B. R. S.; Gravina, L. M.; Tardin, F. D; *Prediction of genetic gains by selection indices using mixed models in elephant grass for energy purposes*. *Genetics and Molecular Research*, v. 16, n. 3, 2017.

Silveira, D.C.; Machado, J.M.; Motta, E.A.M.D.; Barbosa, M.R.; Simioni, C.; Weiler, R.L.; Mills, A.; Sampaio, R.; Brunes, A.P.; Dall'agnol, M. *Genetic parameters, prediction of gains and intraspecific hybrid selection of Paspalum notatum Flüggé for forage using REML/BLUP*. *Agronomy*, v. 12, n. 7, p. 1654, 2022.

Silveira, D. C.; Pelissoni, M.; Buzatto, C. R.; Scheffer-Basso, S. M.; Ebone, L. A.; Machado, J. M.; Lângaro, N. C. *Anatomical Traits and Structural Components of Peduncle Associated with Lodging in Avena Sativa L.* *Agronomy Research*, v. 19, p. 250-264, 2021.

Ubi, B. E.; Mignouna, H.; Obigbesan, G. *Segregation for seed wight, pod lenghts and days to flowering following a cowpea cross*. *African Crop Science Journal Kampala*, [s.l.], v. 9, n. 3, p. 463-470, 2007. DOI: 10.4314/acsj.v9i3.27592

Wells, L. *Pecanamerica's native nut tree*. Tuscaloosa: The University of Alabama Press, 2017. 264 p. WELLS, M.L.; CONNER, P.J. Pecan varieties for Georgia orchards. University of Georgia, 2015. 898 p.

12. Considerações finais

A cultura da noqueira-pecã encontra-se em plena expansão demandando maior quantidade de informações referentes a utilização de cultivares e manejo adequado a ser adotado, para que produzam de maneira satisfatória e atendam as exigências impostas pelo mercado, tanto em quantidade, quanto em qualidade dos frutos ofertados.

O estudo da fenologia demonstrou bastante relevância para o entendimento sobre a interação das cultivares com as variáveis climáticas, principalmente no que se refere às mudanças de desenvolvimento das inflorescências durante os anos na mesma localidade.

Com os resultados desse trabalho foi possível observar que algumas cultivares demonstraram precocidade no início da floração e outras se apresentaram mais tardias. A noqueira-pecã é bastante suscetível a alternância de produção, contudo, os estudos mostraram produção e produtividade sem maiores amplitudes. O rendimento de amêndoa é considerado um parâmetro bastante importante para determinar o valor pago pelas nozes, e nesse estudo as cultivares Barton, Elliot e Jackson podem ser consideradas como cultivares de destaque nesse quesito.

A presença de correlações negativas ou positivas entre os caracteres demonstraram a possibilidade de seleção entre as cultivares, como a exemplo da produção por planta, produtividade e eficiência produtiva em relação ao volume de copa que apresentam forte ligação, estando um caráter possivelmente influenciado por outro.

Estimativas de parâmetros genéticos revelam a existência de variabilidade genética e indicam o potencial para a seleção de cultivares como Elliot, Shoshoni e Jackson em substituição a cultivar Barton, que até o presente momento mostrou-se superior em produção, produtividade e rendimento de nozes.

Por fim, torna-se necessário a realização de novos estudos em diferentes locais e condições edafoclimáticas, para a obtenção de mais informações, que, somadas às desta pesquisa, contribua para a adoção de uma recomendação regional para a utilização de cultivares detentoras de boa produtividade e com qualidade de nozes.

13. Referências

ABRAFRUTAS. Associação Brasileira de Produtores e Exportadores de Frutas e Derivados, 2022. Disponível em:<<https://abrafrutas.org/>> Acesso em 19 mar. 2023.

BBCH-Monograph: Growth stages of plants; Entwicklungsstadien von Pflanzen; 58 Estadios de las plantas; Stades de developementdes plantes. BlackwellWissenschafts-Verlag Berlin-Wien. 1997.

BILHARVA, M. G.; MARTINS, C. R.; HAMANN, J. J.; FRONZA, D.; DE MARCO, R.; MALGARIM, M. B. Pecan: from Research to the Brazilian Reality. **Journal of Experimental Agriculture International**, v.23 n.6. p. 1–16. 2018.

BOSCARDIN, J., COSTA, E. C. Nogueira-pecã no Brasil: Uma revisão entomológica. **Ciência Florestal**, v. 28, n. 1, p. 456-468, 2018.

CARGNELUTTI FILHO, A.; POLETTO, T.; BRIÃO MUNIZ, M. F., BAGGIOTTO, C.; POLETTO, I., FRONZA, D. Dimensionamento amostral para avaliação de altura e diâmetro de mudas de noqueira-pecã. **Ciência Rural**, v. 44, n. 12, p. 2151-2156, 2014.

CASALES, F. G.; VAN DER WATT, E.; COETZER, M. C. Propagation of Pecan (*Carya illinoensis*): A review. **African Journal of Biotechnology**, v. 17, n.18, p. 586-605, 2018.

CROSA, C. F. R., DE MARCO, R., SCHMIDT de S., R., & MARTINS, C. R. Dormência vegetativa da noqueira-pecã – Uma revisão. **Agropecuária Catarinense**, v. 34, n. 2, p. 78–82, 2021.

DE MARCO, R. de. **Fenologia, xenia e irrigação na produção de frutos de noqueira-pecã**. 2020. Tese (Doutorado em Ciências) - Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, 2020.

DE MARCO, R., MARTINS, C. R.; HERTER, F. G.; CROSA, C. F. R.; NAVA, G. A. Ciclo de desenvolvimento da noqueira-pecã – Escala fenológica. **Revista de Ciências Agroveterinárias**, p. 260-270, 2021.

DESCALZO, C.; FRUSSO, E. Estimación del área foliar en cultivares de pecan (*Carya illinoensis*). **Ciencia e Investigación Agraria**. v. 36, n.3, p. 53-58, 2009.

FOGAÇA, L. A.; OLIVEIRA, R. A.; CUQUEL, F. L.; VENDRAME, W. A.; TOMBOLATO, A. F. C. Heritability and genetic correlation in daylily selection. **Euphytica**, v. 184, n. 3, p. 301-310, 2012.

FRONZA, D.; POLETTO, T.; HAMANN, J. J. **O cultivo de noqueira-pecã**. Santa Maria: UFSM, 2013. 301 p.

FRONZA, D.; HAMANN, J. J.; BOTH, V.; ANESE, R. de O.; MEYER, E. A. Pecan cultivation: general aspects. **Ciência Rural**, v.48, n.2, p.1- 9, 2018.

GIROTTTO, K., OLIVEIRA, G. A., LIMA, J. D. de. Estudo de Viabilidade Econômica da Produção de Noz-pecã em Pequenas Propriedades. **XXXVI ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**. João Pessoa, Brasil. 03 a 06 de outubro, 2016.

HAMANN, J.J.; BILHARVA, M. G.; BARROS de J.; MARCO de R.; MARTINS, C. R. **Cultivares de nogueira-pecã no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 43 p.

LIMA, A. D. V. **Caracterização fenológica, produtiva e qualitativa de diferentes genótipos de nogueira-pecã**. 2020. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Programa de Pós-Graduação em Agronomia, Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2020.

MAJIDI, M. M.; MIRLOHI, A.; AMINI, F. Genetic variation, heritability and correlations of agro-morphological traits in tall fescue (*Festuca arundinacea* Schreb.). **Euphytica**, v. 167, n. 3, p. 323-331, 2009.

MARTINS, C. R. MALGARIM, M. BILHARVA, M. DE MARCO, R. Noz-pecã: A Rainha dos frutos secos. **Revista Campo & Negócios**, p. 56-61. 2017.

MARTINS, C. R.; CONTE, A.; FRONZA, D.; FILIPPINI ALBA, J. M.; HAMANN, J. J.; BILHARVA, M. G.; MALGARIM, M. B.; FARIAS, R. de M.; MARCO, R. de; REIS, T. S. **Situação e perspectiva da nogueira-pecã no Brasil**. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, 2018. 31 p. (Embrapa Clima Temperado. Documentos, 462).

MARTINS, C. R.; MARCO, R. de.; FARIAS, R. de M.; MALGARIM, M. B. Noz-pecã: panorama mundial. Informe técnico. **Revista Campo & negócios**, p. 52-55, 2019.

NOGARA, W. J. P. **Cultura da noz-pecã (*Carya illinoensis*)**: aspectos de produção, comercialização e perspectivas futuras na região sul do Brasil. 2018. 60 f. Trabalho de conclusão de especialização (Gestão de Agronegócio). Pós-Graduação em MBA em Gestão de Agronegócio, Departamento de Economia Rural e Extensão, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2018.

POLETTTO, T.; LAZAROTTO, M.; BAGGIOTTO, C.; MUNIZ, M. F. B; POLETTTO, I.; HAMANN, J. J; MACIEL, C. G.; WALKER C. Características Morfológicas de Frutos de Cultivares de Nogueira-Pecã no Rio Grande do Sul. **Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão**, v. 4, n. 2, p.15, 2013.

POLETTTO, T., MUNIZ, M.F.B., POLETTTO, I., BAGGIOTTO, C. Methods for overcome dormancy of pecan *Carya illinoensis* (Wangenh.) K. Koch seeds. **Revista Árvore**, v. 39, p. 1111-1118, 2015.

POLETTTO, T.; POLETTTO, I.; MORAES SILVA, L.M.; BRIÃO MUNIZ, M.F.; SILVEIRA REINIGER, L.R.; RICHARDS, N.; STEFENON, V.M. Morphological, chemical and genetic analysis of southern Brazilian pecan (*Carya illinoensis*). **Scientia Horticulturae**, 261:108863, 2020.

RAMPAZZO, M. C.; DUTRA, F. V.; NUNES, R. de C. S.; SILVA, G. L.; CARDOSO, A. D. Análise biométrica de frutos de *Carya illinoensis* (Wangenh.) C. Koch. **III Congresso Internacional das Ciências Agrárias**, 2018. 6 p.

ROLIM, J. M.; RABUSKE, J. E.; SAVIAN, L. G.; WALKER, C. SARZI, J. S.; SILVA, J. C. P. da; MUNIZ, M. F. B. Fungos da família Botryosphaeriaceae causam diferentes níveis do cancro do tronco em noz-pecã (*Carya illinoensis*) no Brasil. *Revista Árvore*, 2022, 46. <https://doi.org/10.1590/1806-908820220000015>.

SARETTA, E., ORTIZ, E. R. Deficit hídrico na noqueira-pecã em Cachoeira do Sul e sua relação com a produtividade. **Anais...** Segundo Simpósio Sul-americano da noz-pecã, p. 92-95. 2019.

SCHNEIDER, T. Colheita da noz-pecan é aberta oficialmente nesta sexta-feira em Encruzilhada do Sul/RS. **Revista Cultivar**. 2022.

SILVEIRA, D.C.; MACHADO, J.M.; MOTTA, E.A.M.D.; BARBOSA, M.R.; SIMIONI, C.; WEILER, R.L.; MILLS, A.; SAMPAIO, R.; BRUNES, A.P.; DALL'AGNOL, M. Genetic Parameters, Prediction of Gains and Intraspecific Hybrid Selection of *Paspalum notatum* Flüggé for Forage Using REML/BLUP. **Agronomy**, v.12,p. 1654, 2022.

SPARKS, D. Adaptability of pecan as a species. **HortScience**, v. 40, n. 5, p.1175–1189, 2005.

WELLS, L. **Pecanamerica's native nut tree**. Tuscaloosa: The University of Alabama Press, 2017. 264 p.

ZHANG, R.; PENG, R.; LI, Y. Pecan production in China. **Scientia Horticulturae**, v.197, p.719-727, 2015.