



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: FITOTECNIA

AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE ABELHAS
E DO MANEJO DE ABELHAS-SEM-FERRÃO EM CULTIVO DE
MORANGO NO PLANALTO DA CONQUISTA

PRISCILA SILVA MIRANDA

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA – BRASIL

2024

PRISCILA SILVA MIRANDA

**AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSSISTÊMICOS DE ABELHAS
E DO MANEJO DE ABELHAS-SEM-FERRÃO EM CULTIVO DE
MORANGO NO PLANALTO DA CONQUISTA**

Tese apresentada à Universidade Estadual do
Sudoeste da Bahia, como parte das exigências
do Programa de Pós-Graduação em
Agronomia, área de concentração em
Fitotecnia, para obtenção de título de Doutora.

Orientadora: Profa. Dra. Aldenise Alves Moreira

Coorientadora: Profa. Dra Raquel Pérez-Maluf

VITÓRIA DA CONQUISTA

BAHIA – BRASIL

2024

M672a Miranda, Priscila Silva

Avaliação dos serviços ecossistêmicos de abelhas e do manejo de abelhas-sem-ferrão em cultivo de morango no Planalto da Conquista./Priscila Silva Miranda.2024. 106f.

Orientador (a): Prof^ª.Dr^ª Aldenise Alves Moreira.

Tese apresentada ao Programa de Pós Graduação em Agronomia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2024

Referência f30-37

1. Cv.San Andreas.2.Fragaria x ananassa.3. Iraí.4. Jataí
5.Polinização. I.Moreira,Aldenise Alves. II.T

CDD: 630

638.1

634.75

Catálogo na fonte: Chrystina Nery - CRB 5/810 UESB – Campus Vitória da Conquista-BA



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA
Área de Concentração em Fitotecnia

Campus de Vitória da Conquista, BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE ABELHAS E DO MANEJO DE ABELHAS SEM FERRÃO EM CULTIVO DE MORANGO NO PLANALTO DA CONQUISTA".

AUTOR (A): Priscila Silva Miranda

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de DOUTORA EM AGRONOMIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM FITOTECNIA, pela seguinte Banca Examinadora:

 Documento assinado digitalmente
RAQUEL PÉREZ-MALUF
Data: 28/02/2024 17:05:00-0100
Verifique em: <https://validar.it.gov.br>

Raquel Pérez-Maluf, D.Sc. (UESB).

 Documento assinado digitalmente
ALDENISE ALVES MOREIRA
Data: 28/02/2024 22:02:24-0000
Verifique em: <https://validar.it.gov.br>

Aldenise Alves Moreira, D.Sc. (UESB)

 Documento assinado digitalmente
GISELE BRITO RODRIGUES
Data: 28/02/2024 15:02:38-0000
Verifique em: <https://validar.it.gov.br>

Gisele Brito Rodrigues, D.Sc. (UESB).

 Documento assinado digitalmente
KÁTIA SAMPAIO MALAGOLI-BRAGA
Data: 03/03/2024 10:12:00-0000
Verifique em: <https://validar.it.gov.br>

Kátia Sampaio Malagoli-Braga, D.Sc. (EMBRAPA Meio Ambiente)

 Documento assinado digitalmente
LUCIA HELENA PIEDADE KIILL
Data: 07/03/2024 20:08:39-0000
Verifique em: <https://validar.it.gov.br>

Lucia Helena Piedade Kiill, D.Sc. (EMBRAPA Semiárido)

Data de realização: 27 de Fevereiro de 2024.

Estrada do Bem Querer, Km 4, CEP 45031-900, Caixa Postal 95, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil
Telefone: (77) 3425-9383, e-mail: ppagagronomia@uesb.edu.br

Dedico esta tese aos meus pais José Maria e Valdeli, e aos meus irmãos, pelo apoio incondicional, força, incentivo e amizade sem igual.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, por ter me dado saúde e todas as oportunidades concedidas a mim, pela força e tranquilidade nos momentos de fraqueza e dificuldades.

Aos meus pais, por todas as orações, apoio, dedicação e por estarem sempre ao meu lado a cada conquista minha.

Aos meus queridos irmãos, Robson, Débora e Delma, por estarem sempre presentes me dando força.

Ao meu cunhado Maurício e a minha pequena sobrinha Aline Maitê, que nasceu para abrilhantar nossas vidas.

A toda minha família, que mesmo distante esteve presente em todos os momentos. Em especial, tia Dirce, minha prima Vitória Séfora e minha madrastra Mesquita.

Ao meu namorado Vinícius, pelo amor, carinho, paciência, dedicação e por estar ao meu lado nessa etapa final.

Aos meus amigos de Caetité (Denise, Frank, Viviane e Vanusa), que sempre estiveram torcendo por mim, independentemente da distância entre nós.

Um agradecimento especial a minha amiga Zilda Cristina, companheira de pesquisa e de vida, com quem compartilhei tantas preocupações, aflições e muito trabalho, quantas descobertas e conquistas durante esta caminhada.

Ao meu amigo Elismar, que me apoiou tanto no campo como no laboratório e fez dessa jornada a mais leve possível com sua amizade e carinho.

À Professora Dra. Raquel Pérez-Maluf, minha coorientadora, pela orientação, disponibilidade, compreensão, pelo aconselhamento assertivo, pelo estímulo permanente, que muito contribuíram para aumentar e melhorar a clareza da pesquisa; e pela sua mensurável amizade.

À minha orientadora Dra. Aldenise Alves Moreira.

À professora Dra Débora Leonardo, por toda paciência e entusiasmo.

À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia e ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia, pela oportunidade de cursar o doutorado, e concederem a infraestrutura para a execução e desenvolvimento desta pesquisa.

À FAPESB, pela concessão da bolsa de estudo.

Aos colegas do Laboratório LABISA, principalmente Iuri, por toda ajuda.

À família da produtora Sorlange Moreira Gomes Soares, por ceder o Sítio Muritiba para a realização dos experimentos e acolher nossa equipe.

À Dr.^a Generosa Souza Ribeiro, por disponibilizar as colônias de abelhas para o estudo.

E a todos aqueles que, de alguma forma, contribuíram para a realização desse sonho.

Agradeço!

“E tudo o que pedirdes em oração,
crendo, o recebereis”.

Mateus 21:22.

RESUMO GERAL

MIRANDA, P. S. AVALIAÇÃO DOS SERVIÇOS ECOSISTÊMICOS DE ABELHAS E DO MANEJO DE ABELHAS-SEM-FERRÃO EM CULTIVO DE MORANGO NO PLANALTO DA CONQUISTA *Nannotrigona testaceicornis* E *Tetragonisca angustula*. Vitória da Conquista – BA: UESB, 2024. 106 p. (Tese – Doutorado em Agronomia: Área de concentração em Fitotecnia)*

Os benefícios que os agricultores e a humanidade recebem da natureza, direta ou indiretamente, por meio dos ecossistemas são chamados de serviços ecossistêmicos e estes são indispensáveis para a sustentabilidade da produção agrícola. Dentre os serviços ecossistêmicos, a polinização é um serviço de suma importância para a reprodução de culturas agrícolas, como o morango, que apresenta características que favorecem a polinização cruzada. O presente estudo foi realizado em uma propriedade com plantio comercial em campo aberto com proteção de túneis baixos de morango, cultivar San Andreas, localizado no Planalto da Conquista, no município da Barra do Choça - BA. Inicialmente foi determinado o melhor dia para polinização floral do morangueiro cultivar San Andreas, após a antese floral, através da polinização manual cruzada, constatando que os melhores dias para a polinização da flor do morangueiro são os dois primeiros dias após a antese. Posteriormente, as avaliações foram realizadas nas quatro estações do ano e sob duas condições do plantio, a polinização natural e com adensamento de abelhas das espécies Iraí (*Nannotrigona testaceicornis*) e Jataí (*Tetragonisca angustula*). Estimou-se a oferta de flores e a densidade de abelhas. Para o adensamento, foram implantadas quatro caixas de colônias populosas de Iraí e quatro de Jataí, dispostas perto do plantio de morango. Foram estabelecidos cinco tratamentos para cada condição, considerando a realização da polinização natural (PN) e a polinização com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias, a partir da antese das flores, variando do 1º ao 5º dia. Os frutos foram colhidos, quantificados e submetidos a avaliações para determinação da biometria, grau de deformidade e porcentagem de aquênios fertilizados. A oferta de flores foi maior no outono e no inverno. O peso foi maior quando os frutos foram provenientes de polinização no primeiro dia após a antese floral, em condições de polinização com adensamento de abelhas. Observou-se que a polinização livre proporcionou frutos com maior grau de deformação das flores no quarto e quinto dia após a antese. Foram avaliados os diferentes mecanismos de polinização (natural, com adensamento de abelhas, cruzada manual, anemofilia e autopolinização) nas análises físico-químicas. A polinização natural e com adensamento de abelhas proporcionaram os melhores parâmetros (Peso, °Brix, ratio e vit. C). A autopolinização apresentou as menores médias em todas as variáveis analisadas. O adensamento de abelhas proporcionou uma maior porcentagem de aquênios germinados nas flores polinizadas no primeiro dia após a antese floral, assim como um maior número de plântulas normais em todos os dias avaliados, baixo número de plântulas com anomalias e maior índice de plântulas maiores. Assim, o manejo dessas duas espécies de abelhas-sem-ferrão para suplementação da polinização em áreas de cultivo aberto, é uma alternativa viável para cultivos que apresentem déficit de polinização, proporcionando frutos de qualidade.

Palavras-chaves: Cv. San Andreas, *Fragaria x ananassa*, Iraí, Jataí, polinização.

***Orientadora:** Profa. Dra. Aldenise Alves Moreira, UESB e **Coorientadora:** Profa. Dra. Raquel Pérez-Maluf, UESB.

GENERAL ABSTRACT¹

MIRANDA, P. S. **ECOSYSTEM SERVICE OF BEES IN STRAWBERRY CULTIVATION IN THE PLANALTO DA CONQUISTA, WITH EMPHASIS ON THE SPECIES *Nannotrigona testaceicornis* AND *Tetragonisca angustula***. Vitória da Conquista - BA, UESB, 2024. 106 p. (Tese: Doctor Science in Agronomy; Area of Concentration: Crop Science)*.

The benefits that farmers and humanity receive from nature directly or indirectly through ecosystems are called ecosystem services and these are essential for the sustainability of agricultural production. Among ecosystem services, pollination is an extremely important service for the reproduction of agricultural crops, such as strawberries, which have characteristics that favor cross-pollination. The present study was carried out on a property with commercial planting in an open field with the protection of low strawberry tunnels, cultivar San Andreas, in Planalto da Conquista, in the municipality of Barra do Choça-BA. Initially, the best day for floral pollination of the strawberry cultivar San Andreas was determined after floral anthesis, through manual cross-pollination, noting that the best days for pollination of the strawberry flower are the first two days after anthesis. Subsequently, it was carried out in the four seasons of the year and under two planting conditions, natural pollination and with density of bees *Specie's Iraí* (*Nannotrigona testaceicornis*) and *Jataí* (*Tetragonisca angustula*). The supply of flowers and the density of bees were estimated. For densification, four boxes of populated colonies in Iraí and four in Jataí were placed near the strawberry plantation. Five treatments were established for each condition, considering natural pollination (PN) and pollination with bee density (PAA) on different days from flower anthesis, ranging from the 1st to the 5th day. The fruits were harvested, quantified and subjected to evaluations to determine biometrics, degree of deformity and percentage of fertilized achenes. The supply of flowers is greatest in autumn and winter. The weight was greater when the fruits came from pollination on the first day after floral anthesis in conditions of pollination with density of bees. It was observed that free pollination provided fruits with a greater degree of flower deformation on the fourth and fifth day after anthesis. The different pollination mechanisms (natural, with density of bees, manual cross, anemophily and self-pollination) were evaluated in phytochemical analyses. Natural pollination and density of bees provided the best parameters (Weight, °Brix, ratio, vit. C). Self-pollination presented the lowest averages in all variables analyzed. The density of bees provided a higher percentage of germinated achenes in pollinated flowers on the first day after floral anthesis, as well as a greater number of normal seedlings on all days evaluated, a low number of seedlings with anomalies and a higher rate of larger seedlings. Thus, the management of these two Species of stingless bees to supplement pollination in open cultivation areas is a viable alternative for crops that present a pollination deficit, providing fruit quality.

Keywords: Cv. San Andreas, *Fragaria x ananassa*, Iraí, Jataí, pollination.

* **Adviser:** Profa. Dra. Aldenise Alves Moreira, UESB **and Coadvisor:** Profa. Dra. Raquel Pérez-Maluf, UESB.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 Dados climáticos da estação meteorológica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.	33
Figura 1.2 Flores de <i>Fragaria x ananassa</i> cv ‘San Andreas’ em diferentes dias após a abertura floral. Botão floral (A); primeiro dia (B); segundo dia (C); terceiro dia (D); quarto dia (E) e quinto dia (F). Barra do Choça, BA, 2022.....	33
Figura 1.3 Análises físicas de frutos do morangueiro cv. ‘San Andreas’, resultantes de polinizações realizadas entre o período 1 (A) e período 2 (B), organizados em onze tratamentos: PCM1 (1º dia de antese); PCM2 (2º dia de antese); PCM3 (3º dia de antese); PCM4 (4º dia de antese); PCM5 (5º dia de antese); PN1 (1º dia de antese); PN2 (2º dia de antese); PN3 (3º dia de antese); PN4 (4º dia de antese); PN5 (5º dia de antese) e AP (autopolinização). Barra do Choça, BA, 2022.....	34
Figura 1.4 Porcentagem de frutos do morango na cv. ‘San Andreas’ com diferentes graus de deformação, resultantes dos cinco tratamentos.....	34
Figura 1.5 Diagramas de ordenação produzidos pela análise de componentes principais das variáveis: peso, diâmetro, comprimento, grau de deformidade (GDF), dos frutos de morangueiro na cv. ‘San Andreas’ e porcentagem de aquênios fecundados (PAF), nos tratamentos.....	36
Figura 2.1 Dados climáticos gerados pela estação meteorológica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia no ano de 2022.....	55
Figura 2.2 Análises biométricas (peso, comprimento e diâmetro) de frutos do morangueiro cv. ‘San Andreas’, resultantes de Polinização Natural (PN) e Polinização com Adensamento de Abelhas (PAA). Barra do Choça- BA.....	56
Figura 2.3 Frequência relativa com diferentes graus de deformidade do morango da cv. ‘San andreas’ resultantes dos cinco dias da flor após a antese na polinização natural (PN) e na polinização com adensamento de abelhas (PAA). Barra do Choça- BA.....	56
Figura 2.4 Diagramas de ordenação produzidos pela análise de componentes principais dos tratamentos com polinização natural (PN) e polinização com adensamento de abelhas (PAA) em morango e as características dos frutos obtidos.....	57
Figura 3.1 Frutos formados do morango cv. ‘San Andreas’, obtidos por meio de diferentes mecanismos de polinização: Polinização Natural (PN) (A), Polinização Natural com Adensamento de Abelhas (PNAA) (B), Polinização cruzada manual (PCM) (C),	

Polinização por anemofilia (PAN) (D) e Autopolinização (AP) (E). Barra do Choça-BA.....	74
Figura 3.2 Análises químicas (pH, ATT, °Brix, Ratio, Vit.C) de frutos do morangueiro cv. ‘San Andreas’, resultantes de Polinização Natural (PN), Polinização com Adensamento de Abelhas (PAA), Polinização cruzada manual (PCM), Polinização por anemofilia (PAN) e Autopolinização (AP). Barra do Choça- BA.....	75
Figura 4.1 Número de aquênios, comprimento, largura e espessura dos aquênios de morango cultivar 'San Andreas' resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e polinização com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.....	83
Figura 4.2 Porcentagem de germinação de aquênios de morango cultivar 'San Andreas' resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.....	84
Figura 4.3 Frequência germinativa, Índice de velocidade de germinação (IVG) e Tempo médio de germinação (TMG) de aquênios de morango cultivar 'San Andreas', resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.....	85
Figura 4.4 Comprimento de plântulas de morango cultivar 'San Andreas' resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e polinização com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.....	87

APÊNDICES

Figura 1. Registro das espécies Iraí (<i>Nannotrigona testaceicornis</i>) (A) e Jataí (<i>Tetragonisca angustula</i>) (B) na flor do morangueiro.....	94
Figura 2. Colônias das espécies Iraí (<i>Nannotrigona testaceicornis</i>) e Jataí (<i>Tetragonisca angustula</i>) expostas em frente ao plantio de morango.....	95
Figura 3. Metodologia do ensacamento dos tratamentos. Flores e frutos protegidos com tecido de voil (A-B) e com tecido antiafídeo (C-D).....	96
Figura 4. Biometria (comprimento, largura e espessura) dos aquênios do morango.....	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Porcentagem de aquênios fertilizados (PAF) nos dois períodos avaliados no morango na cv. ‘San Andreas’, resultantes dos onze tratamentos.....	35
Tabela 2.1 Quantidade média de oferta de flores e abelhas no cultivo do morango cv. San Andreas durante as quatro estações do ano, sob condições naturais e de adensamento com abelhas-sem-ferrão. Barra do Choça-BA.....	44
Tabela 3.1 Análises físicas (peso, comprimento, diâmetro e cor: croma (C*), diferença de cor (ΔE) e ângulo Hue° (°H) de frutos do morangueiro cv. ‘San andreas’, resultantes de Polinização Natural (PN), Polinização Natural com Adensamento de Abelhas (PNAA), Polinização cruzada manual (PCM), Polinização por anemofilia (PAN) e Autopolinização (AP) no município de Barra do Choça - BA.....	76
Tabela 4.1 Médias de porcentagens de plântulas anormais (PA), plântula anormais (PA), Aquênios duros (AD) e aquênios mortos (AM), de morango cv. San Andreas.....	86

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO GERAL.....	16
2. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19
3. ARTIGO I:	21
Polinização de flores da cultivar de morango <i>San Andreas</i>.....	21
3.1 INTRODUÇÃO.....	23
3.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	26
3.4 CONCLUSÕES.....	29
3.5 CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES.....	29
3.6 REFERÊNCIAS.....	30
4. ARTIGO II:.....	37
Avaliação do adensamento de abelhas-sem-ferrão para melhorar o serviço de polinização: um estudo de caso no cultivo de morango em condições de campo.....	37
4.1 INTRODUÇÃO.....	39
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	41
4.2.1 Caracterização da Área de Estudo.....	41
4.2.2 Oferta de flores e densidade de abelhas.....	41
4.2.3 Adensamento de abelhas-sem-ferrão.....	41
4.2.4 Experimentos de polinização.....	42
4.2.5 Seleção de botões florais para polinização.....	42
4.2.6 Colheita e avaliações.....	42
4.2.7 Análise estatística.....	43
4.3 RESULTADOS	43
4.4 DISCUSSÃO.....	46
4.4 CONCLUSÕES.....	50
4.5 CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES.....	50
4.6 AGRADECIMENTOS.....	50
4.7 REFERÊNCIAS.....	50
5. ARTIGO III.....	58
Influência dos mecanismos de polinização na qualidade físico-química do morango (<i>Fragaria x ananassa</i>) cv. <i>San Andreas</i>.....	58
5.1 INTRODUÇÃO.....	61

5.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	62
5.3 RESULTADOS	64
5.4 DISCUSSÃO.....	65
5.5 CONCLUSÕES.....	68
5.6 CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES.....	68
5.7 REFERÊNCIAS.....	69
6. ARTIGO IV.....	77
Avaliação da biometria e germinação de aquênios de morango, cultivar ‘San Andreas’, com e sem adensamento de abelhas.....	77
6.1 INTRODUÇÃO.....	79
6.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	80
6.3 RESULTADOS	83
6.4 DISCUSSÃO.....	87
6.5 CONCLUSÕES.....	89
6.6 CONFLITO DE INTERESES.....	89
6.7 REFERÊNCIAS.....	89
7. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	93
8. APÊNDICES.....	94
9. ANEXO	98

INTRODUÇÃO GERAL

Os benefícios que os agricultores e a humanidade recebem da natureza, direta ou indiretamente, por meio dos ecossistemas são chamados de serviços ecossistêmicos e estes são indispensáveis para a sustentabilidade da produção agrícola. A relação entre os serviços de polinização e a produtividade de culturas agrícolas tem sido estudada, mostrando sua importância na economia e, principalmente, na qualidade de vida da população humana. Sabe-se que 75% das culturas agrícolas no mundo dependem de polinização por animais, não só por aumentar a produção, mas também por melhorar a quantidade e qualidade de frutos e sementes (Witter et al., 2014).

A polinização é considerada um serviço ecossistêmico regulatório de provisão e cultural, sendo uma interação ecológica que fornece muitos benefícios aos seres humanos. Estes incluem a manutenção e a variabilidade genética de populações de plantas nativas que sustentam a biodiversidade e as funções ecossistêmicas (serviço ecossistêmico de regulação), a garantia do fornecimento confiável e diversificado de frutos, sementes, entre outros (serviço ecossistêmico de provisão), e a promoção de valores culturais relacionados ao conhecimento tradicional (serviço ecossistêmico cultural) (Costanza et al., 2017). A produção de frutos está na base da cadeia alimentar, sendo de fundamental importância para o equilíbrio dos ecossistemas. Há muito tempo a ação dos polinizadores é conhecida e considerada como um elemento-chave da produção agrícola e da conservação ambiental (Imperatriz-Fonseca et al., 2012).

O manejo adequado de polinizadores é uma alternativa para incrementar a produção agrícola e suprimir o déficit na polinização em plantas cultivadas. Para o caso do café, da canola, da soja, do morangueiro, do tomateiro, entre outras culturas agrícolas, a polinização não é obrigatória, mas a produtividade das culturas é muito maior na presença de polinizadores. Segundo os pesquisadores da área de interação, polinizadores e agricultura, os frutos polinizados têm mais sementes, maior homogeneidade na maturação, formato mais uniforme, maior valor nutritivo e vida de prateleira mais longa (Klatt et al., 2014).

Diversas metodologias vêm sendo desenvolvidas, reunidas e revisadas visando quantificar o serviço ecossistêmico dos polinizadores em diversas culturas agrícolas. Entretanto, há necessidade de compreender e quantificar o impacto econômico na produção agrícola decorrente da ação de polinizadores para, assim, recomendar um manejo adequado das culturas, visando à manutenção ou o aumento da visitação por estes

polinizadores. Contudo, apesar de ter aumentado o interesse pela polinização agrícola com o manejo de abelhas nas lavouras, visando o aumento da produção (produtividade e qualidade) comercial, o sistema de produção convencional não é compatível com a conservação do serviço ecossistêmico de polinização, pois impacta negativamente na abundância e na diversidade de abelhas presentes em diversos cultivos, cujas falhas na polinização já foram identificadas em diversas regiões do mundo (Garibaldi et al., 2013). Portanto, o manejo de abelhas não é e nem será suficiente para suprir a necessidade de se produzir alimentos em maior quantidade e com mais qualidade para uma população crescente; é preciso urgentemente restaurar os ambientes naturais e mudar o sistema dominante de produção de alimentos.

O cultivo do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch) possui grande importância no território brasileiro, tanto na geração de trabalho e de renda no campo. As principais cultivares de morangueiro comercializadas no Brasil são ‘Oso Grande’, ‘Camarosa’, ‘Aromas’, ‘Albion’ e ‘San Andreas’ (Antunes; Peres, 2013; Kirschbaum et al., 2017). Por serem comercializados principalmente *in natura* (Antunes et al., 2013), o mercado torna-se cada dia mais exigente com a qualidade dos alimentos. Para a obtenção de morangos de boa qualidade e para garantir uma boa produtividade, a polinização por abelhas é um fator de produção na cultura do morangueiro.

As flores do morango apresentam características que favorecem a polinização cruzada (Roselino et al., 2009). Mesmo sendo os cultivares comerciais atuais hermafroditas e autoférteis, a transferência do pólen das anteras para os estigmas depende dos visitantes (Abrol et al., 2017). Nesse sentido, estudos têm demonstrado que a produção do morango apresenta alta correlação com a polinização cruzada (Witter et al., 2014).

A polinização por insetos leva à fertilização elevada das flores de morango e, portanto, aumenta o número de aquênios fertilizados. Além do tamanho e da forma, a polinização por insetos também pode melhorar a cor, a firmeza e a acidez dos frutos (Klatt et al., 2014).

As abelhas *Apis mellifera*, *Plebeia nigriceps*, *Tetragonisca angustula*, *Nannotrigona testaceicornis* e *Trigona APinipes* são polinizadores eficientes do morangueiro (Roselino et al., 2009; Witter et al., 2012), sendo frequentemente observadas em cultivos. Chaves et al. (2017) e Inagaki et al. (2017) observaram as espécies com maior frequência: *Apis mellifera*, *Trigona APinipes* e *Tetragonisca angustula* que apresentaram comportamento de polinizadores, tocando anteras e estigmas de diferentes

flores. Entretanto, as abelhas presentes no ambiente podem não ser suficientes para um serviço ecossistêmico de polinização; e a introdução de abelhas-sem-ferrão pode ter grandes benefícios. Embora no Brasil o aluguel de colmeias (apicultura migratória) não seja uma prática comum, considerando que no clima tropical há um número maior de polinizadores, tais como coleópteros, dípteros e outros, nos últimos anos, têm crescido o interesse dos produtores rurais no uso das abelhas para o aumento da produtividade (Vieira et al., 2010). A prática de apicultura migratória ou móvel é fundamentada na mudança de conjuntos de colmeias (apiários) de uma região para outra, acompanhando as floradas com vistas à produção de mel e para a prestação de serviços de polinização (UFV, 2014).

A espécie *Nannotrigona testaceicornis* (Lepeletier, 1836), conhecida como Iraí, é uma abelha-sem-ferrão de origem indígena, pertencente à família Apidae e tribo Trigonini. Na cultura do morangueiro, Roselino et al. (2009) observaram que, em cultivo protegido, a melhoria na qualidade das frutas apresentou-se promissora. Assim como Silva et al. (2020) que, na mesma cultura, constataram que o serviço de polinização por *N. testaceicornis* contribuiu para o aumento do comprimento longitudinal e para a melhoria das características qualitativas das frutas, diminuindo o grau de deformação e aumentando a porcentagem de frutas comercializáveis.

Já a espécie *Tetragonisca angustula* (Latreille, 1811) é uma abelha-sem-ferrão, popularmente conhecida como Jataí e é uma das abelhas-sem-ferrão mais criadas do Brasil (Jaffé et al., 2015). Um estudo realizado por Calvete et al. (2003) em cultivares de morango foi verificada que a polinização por jataí gerou incremento no peso médio dos frutos e uma redução no número de frutos deformados e, conseqüentemente, aumento no número de frutos comercializáveis.

Entretanto, há uma escassez de estudos em propriedades comerciais em campo aberto, sem estufas e com a cultivar San Andreas. Sendo assim, entende-se que a pesquisa proposta possa promover respostas a essa carência de trabalhos. Além de promover aquênios oriundos de diferentes mecanismos de polinização, visando o melhoramento genético, permitindo o desenvolvimento de novas cultivares comerciais.

Diante disso, o estudo foi desenvolvido em um cultivo comercial de morango com avaliação do serviço ecossistêmicos com ênfase nas espécies Iraí (*Nannotrigona testaceicornis*) e Jataí (*Tetragonisca angustula*) com adensamento de colônias, tendo em vista o seu potencial polinizador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abrol, D.P.; Gorka, A.K.; Ansari, M.J.; Al-Ghamdi, A.; Alkahtani, A. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. **Saudi Journal of Biological Sciences**, União da Vitória, v. 22, n. 02, p. 06-17, 2017. <https://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.08.003>.
- Antunes, L.E.C.; Peres, N. Strawberry production in Brazil and South America. **International Journal of Fruit Science**, London, v.13, n.1, 156-161, 2013. <https://doi.org/10.1080/15538362.2012.698147>
- Calvete, E.O.; Rocha, H.C.; Cechetti, D.; Maran, R.E.; Carli, W. Polinização entomófila de morangueiro cultivado em ambiente protegido. **Horticultura Brasileira**, v.21, p. 281, 2003.
- Chaves, M. A.; Inagaki, F. M. O.; Hyrycena, N. R.; Pizzoloto, G. J.; Sekine, E. S. Comportamento de abelhas sociais visitantes em cultura de morango (*Fragaria x ananassa* Duch, cv. Albion). **Rev. Geomae**, Campo Mourão, PR v.8 n. Especial SIAUT p. 78 - 85 2017.
- Costanza, R.; Groot, R.; Braat, L.; Kubiszewski, I.; Fioramonti, L.; Sutton, P.; Farber, S.; Grasso, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosyst Serv**, v.28, p.1–16, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.09.008>
- Garibaldi, L.; Steffan-Dewenter, I.; Winfree, R.; Aizen, M.; Bommarco, R.; et al. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. **Science**. n. 339, p. 1608-1611, 2013. . <https://doi.org/10.1126/science.1230200>
- Imperatriz-Fonseca, V. L.; Canhos, D. A. L.; Alves, D. A.; Saraiva, A. M. Polinizadores e polinização - Tema global. In: Imperatriz-FONSECA, V. L.; Canhos, D. A. L.; Alves, D. A.; Saraiva, A. M. (Org.). **Polinizadores no Brasil – contribuição e perspectivas para a biodiversidade, uso sustentável, conservação e serviços ambientais**. 1ed. São Paulo: EDUAP, p. 335-348, 2012.
- Inagaki, F.M.O.; Chaves, M.A.; Matos, I. V.; Silva, B. R.; Sekine, E. S. Levantamento de abelhas polinizadoras em cultura de morango (*Fragaria x ananassa* Duch, cv. Albion). **Rev. Geomae** Campo Mourão, PR v.8n.Especial SIAUT p. 129 – 135, 2017.
- Klatt, B.; Holzschuh, A.; Westphal, C.; Colough, Y.; Smit, I.; Pawelzik, E.; Tscharrntke, T. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. **Proc. R. Soc. B**, v. 281, p. 2013-2440, 2014. <http://dx.doi.org/10.1098/rAPb.2013.2440>
- Kirschbaum, D.S.; Vicente, C.E.; Cano-Torres, M.A.; Gambardella, M.; Veizaga-Pinto, F.K.; Antunes, L.E.C (2017). Morango na América do Sul: do Caribe à Patagônia. **Acta Hortic**. 1156, 947-956, 2017. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1156.140>
- Jaffé, R.; PopE, N.; Carvalho, A.T.; Maia, U.M.; Blochtein, B.; De Carvalho, C.A.L. Bees for Development: Brazilian Survey Reveals How to Optimize Stingless Beekeeping. **Plos One** 10(3), 2015. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0121157>
- Roselino, A.C.; Santos, S.B.; Hrncir, M.; Bego, L.R. Differences between the quality of strawberries (*Fragaria x ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. depilis and *Nannotrigona testaceicornis*. **Genetics and Molecular Research**, v. 8, n. 2, p. 539-545, 2009. <https://doi.org/10.4238/VOL8-2KERR005>
- Silva, G.R.; Gusmão, A.L.J.; Ribeiro, G.S.; Pérez-Maluf, R. Pollination service of *Nannotrigona testaceicornis* stingless bees in strawberry. **Arquivos do Instituto Biológico**, v. 87, 2020. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000292019>

Vieira, P. F. D. S. P.; Cruz, D. O.; Gomes, M. F. M.; Oliveira Campos, L. A.; Lima, J. E. Valor econômico da polinização por abelhas mamangavas no cultivo do maracujá-amarelo. **Revibec: Revista Iberoamericana de Economía Ecológica**, 1543-53. 2010. UFV- Universidade Federal de Viçosa. 2014. **Apicultura migratória**. Disponível em: <http://www.apiario.ufv.br/apimigrat.html>. Acesso em: 01 jul. 2020.

Witter, S.; Radin, B.; Lisboa, B. B.; Teixeira, J. G.; Blochtein, B.; Imperatriz-Fonseca, V. L. Performance of strawberry cultivars subjected to different types of pollination in a greenhouse. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 1, p. 58–65, 2012.

Witter, S.; Nunes-Silva, P.; Blochtein, B. **Abelhas na Polinização da Canola: benefícios ambientais e econômicos**, Porto Alegre, 71 p., 2014.

3. ARTIGO I:

Polinização de flores da cultivar de morango *San Andreas**

***Situação:** Aceito para publicação

DOI: 10.1590/S1678-3921.pab2024.v59.03434

Polinização de flores da cultivar de morango San Andreas

Priscila Silva Miranda ⁽¹⁾ (<https://orcid.org/0000-0001-6480-7805>), Zilda Cristina Malheiros Lima ⁽¹⁾ (<https://orcid.org/0000-0002-8383-8292>), Raquel Pérez-Maluf ⁽¹⁾ (<https://orcid.org/0000-0001-5385-0760>) e Aldenise Alves Moreira ⁽¹⁾ (<https://orcid.org/0000-0002-2362-9624>)

⁽¹⁾ Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Estrada Bem Querer, Km-04, CEP 45033-300 Vitória da Conquista, BA, Brazil.

E-mail:

miranda.priscila48@gmail.com, zildacristina52@hotmail.com, raquelmaluf@uesb.edu.br, aldenise.moreira@gmail.com

Polinização de flores da cultivar de morango San Andreas

Abstract –The objective of this work was to determine the optimal day for pollinating the San Andreas strawberry cultivar post-flower anthesis. The investigation spanned two distinct periods, namely summer and fall, conducted on a commercial farm. A total of twelve flower buds per treatment were monitored and photographed. Eleven treatments were implemented, encompassing manual cross-pollination (PCM), natural pollination (PN) on 1 to 5 days post-flower anthesis, and self-pollination (AP). Following pollination, the flowers were securely bagged until the development and maturation of the flower receptacle. Subsequently, the harvested fruits underwent quantification and evaluation to assess biometry, degree of deformity, and the percentage of fertilized achenes. The San Andreas cultivar's flowers exhibit an openness duration of five days, during which the initiation of flower receptacle development becomes discernible. Optimal days for strawberry flower pollination, whether through PCM or PN, were the initial two days following anthesis.

Index terms: *Fragaria x ananassa*, flower anthesis, pollination.

Resumo – O objetivo deste trabalho foi determinar o melhor dia para polinização floral do morangueiro cultivar San Andreas após a antese floral. O estudo foi realizado em dois períodos (verão e outono), em uma propriedade de plantio comercial. Doze botões florais foram acompanhados e fotografados por tratamento. Foram estabelecidos onze tratamentos, considerando a realização da polinização cruzada manual (PCM) e polinização natural (PN) em 1 a 5 dias, a partir da antese das flores e da autopolinização (AP). Após a polinização, as flores foram ensacadas até o desenvolvimento e maturação do receptáculo floral. Os frutos foram colhidos, quantificados e submetidos a avaliações para determinação da biometria, grau de deformidade e porcentagem de aquênios fertilizados. A flor da cultivar San Andreas permanece aberta por cinco dias, quando já pode ser observado o início do desenvolvimento do receptáculo floral. Os melhores dias para a polinização da flor do morangueiro, seja pela PCM ou PN, são os dois primeiros dias após a antese.

Termos para indexação: *Fragaria x ananassa*, antese floral, polinização.

Introdução

Nas últimas décadas, há um foco crescente no estudo de culturas e agroecossistemas para avaliar a importância econômica dos polinizadores (BPBES/REBIPP, 2019). A espécie *Fragaria x ananassa* apresenta flores hermafroditas e autoférteis. No entanto, dado o seu número substancial de óvulos que requerem fertilização e a presença de hercogamia, um polinizador é essencial para garantir uma distribuição uniforme do pólen através dos estigmas (Malagodi-Braga, 2002). Consequentemente, é classificada como uma cultura com moderada dependência de polinizadores (Giannini et al., 2015).

Flores totalmente fertilizadas produzem frutos bem formados, enquanto a fertilização parcial do óvulo leva a morangos com padrões de deformação variados (Witter et al., 2014). Para produzir frutos perfeitos e indeformados, os grãos de pólen devem atingir quase todos os estigmas, garantindo a fertilização do óvulo (Malagodi-Braga, 2018).

Na investigação dos estágios fenológicos do morango, Antunes et al. (2006) observaram que a abertura completa das flores (estágio 3) persistiu por 4,5 dias nas cultivares Oso Grande, Tudla, Chandler e Dover, coincidindo com a fase de polinização. Durante esse período, os estigmas tornam-se receptivos aos grãos de pólen de outras flores. Malagodi-Braga (2002) e Barbosa & Orth (2020) observaram que, na cultivar Aromas, todos os estigmas apresentaram receptividade no quarto dia, conforme determinado através do teste de receptividade do estigma.

No entanto, são escassas as informações sobre a receptividade da cultivar San Andreas e o estado de sua inflorescência nos dias disponíveis para visitação floral. Tais detalhes são cruciais nas pesquisas de melhoramento genético e sua determinação pode contribuir significativamente para futuras investigações. Além disso, existem apenas dados preliminares (não publicados) do teste de receptividade, sugerindo receptividade a partir do primeiro dia da antese. Silva et al. (2020) avaliaram a polinização monitorada por abelhas no primeiro dia da antese, resultando em frutos bem formados. A cultivar San Andreas destaca-se como uma das mais cultivadas e comercializadas no mercado (Klein et al., 2020). Consequentemente, há uma necessidade urgente de compreender a fenologia floral e a dinâmica da polinização. Assim, o objetivo deste trabalho é determinar o dia ideal para a polinização p s-antese floral na cultivar de morango San Andreas através de polinização cruzada manual e polinização natural.

Material e Métodos

O estudo foi realizado no município de Barra do Choça, situado na região do Planalto da Conquista (14 52'S e 40 34'W, com altitude média de 900 m). A  rea apresenta precipitação média anual de aproximadamente 750 mm, caracterizando uma estação seca de maio a setembro (Prefeitura Municipal de Barra do Choça, 2020). Esta pesquisa foi realizada em um cultivo comercial de morango, cultivar San Andreas, empregando fertirrigação, conforme necessário, em campo aberto e com baixa proteção de túnel.

O experimento durou dois períodos, com floração contínua durante o verão (janeiro) e outono (abril) de 2022 (Figura 1). Para acompanhar a evolução das características florais ao longo dos cinco dias de experimento, doze botões florais foram meticulosamente observados e fotografados em cada tratamento.

Foram implementados onze tratamentos, abrangendo diferentes tipos de polinização e dias de antese das flores: Polinização Cruzada Manual (PCM), Polinização Natural (PN) e Autopolinização (AP). Os tratamentos foram organizados da seguinte forma: PCM1 (1º dia de antese), PCM2 (2º dia de antese), PCM3 (3º dia de antese), PCM4 (4º dia de antese), PCM5 (5º dia de antese), PN1 (1º dia de antese), PN2 (2º dia de antese), PN3 (3º dia de antese), PN4 (4º dia de antese), PN5 (5º dia de antese) e AP (autopolinização).

Os tratamentos foram conduzidos em canteiros, compostos por duas fileiras, e um total de onze túneis. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com doze repetições. As flores primárias das inflorescências foram selecionadas aleatoriamente um dia antes da antese, e cobertas com tecido voil para controle dos tratamentos. Os grãos de pólen foram coletados de outras flores primárias de plantas da mesma cultivar, pré-selecionadas no dia anterior à polinização e armazenados em placas de Petri em temperatura ambiente.

Em cada dia designado para os tratamentos PCM (dias 1, 2, 3, 4 e 5), o pólen foi meticulosamente transferido para o estigma da flor, utilizando-se uma escova sintética. Posteriormente, as flores foram reensacadas e assim permaneceram até o desenvolvimento e maturação do receptáculo floral. Para PN, no dia de cada tratamento, as flores foram descobertas, permitindo a exposição à polinização natural. No caso do AP, os botões foram ensacados e mantidos cobertos até o desenvolvimento e maturação do receptáculo floral.

Os frutos resultantes dos tratamentos foram colhidos e quantificados, quando apresentavam 75% de sua superfície externa na coloração vermelha a totalmente madura. As análises físicas foram realizadas no Laboratório de Biodiversidade do Semiárido (LABISA) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB).

As avaliações foram realizadas no mesmo dia da colheita e a biometria dos frutos foi determinada com base em parâmetros, como massa fresca (g), comprimento longitudinal (mm) e diâmetro equatorial (mm), medidos na região mediana dos frutos.

Os frutos foram classificados de acordo com o grau de deformação, utilizando-se categorias definidas pelo Programa Brasileiro de Modernização da Horticultura e da Produção Integrada de Morango (PBMH & PIMO, 2009): bem formados (0), deformação

leve (até 30%), deformação média (entre 30% e 60%) e deformação severa (acima de 60%). Posteriormente, os frutos foram separados para determinação da taxa de fertilização dos aquênios, segundo Thompson (1971).

Os aquênios foram extraídos com pinça e colocados em recipientes com água para avaliar sua capacidade de flutuação. Os aquênios viáveis foram identificados como aqueles que afundavam em solução aquosa, enquanto os inviáveis eram aqueles que flutuavam.

A porcentagem de aquênios fertilizados (PFA) foi calculada pela fórmula: $PFA = (\text{número de aquênios fertilizados} / \text{número total de aquênios por fruto}) \times 100$.

Os dados coletados foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade, seguidos de análise de variância. As médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico SISVAR. Adicionalmente, foi realizado o teste Qui-quadrado, com probabilidade menor ou igual a 5%, utilizando-se o software PAST (Hammer et al., 2001).

Além disso, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), utilizando-se o software XLSTAT® versão 19.2.2 (Addinsoft, 2019), para elucidar a relação entre variáveis e diferentes tratamentos.

Resultados e Discussão

Observações diretas da longevidade das flores revelaram que a corola abre em vários horários do dia e as flores persistem até o quinto dia, exibindo características distintas (Figura 2a-f). Segundo Barbosa (2009), os estigmas da flor do morangueiro cv. aroma torna-se progressivamente receptivo à polinização, ficando apenas a base acessível no primeiro dia, tanto a base como as laterais no segundo dia, e receptividade completa no terceiro dia. As anteras em pré-antese apresentam tonalidade amarela, escurecendo à medida que os grãos de pólen são liberados (Figura 2b-f). A deiscência das anteras é longitudinal e inicia-se logo após a abertura da corola, com exposição completa ao pólen observada no segundo dia. À medida que os dias avançam, as anteras escurecem e os estigmas permanecem receptivos até o quinto dia, quando o início do desenvolvimento do receptáculo floral torna-se perceptível (Figura 2f).

Diversas longevidades florais foram observadas nas cultivares 'Sweet Charlie' e 'Oso Grande', estudadas por Malagodi-Braga (2002), onde as flores permaneceram abertas por até seis dias no inverno e na primavera (maio a outubro). Além disso, Barbosa & Orth (2020) notaram recentemente uma longevidade de aproximadamente seis dias durante um ano na cultivar Aromas, sugerindo variabilidade na longevidade das flores de morango entre as diferentes cultivares avaliadas até o momento.

Quanto às características físicas dos frutos, as menores médias das variáveis peso e comprimento foram observadas nos tratamentos PCM5 (dia 5), PN5 (dia 5) e AP durante o verão (Figura 3a). Na avaliação de outono, PN no dia 5 de abertura floral (PN5) e autopolinização (AP) apresentaram valores inferiores aos registrados para os demais tratamentos (Figura 3b).

Os valores obtidos nos tratamentos PCM e PN, entre o primeiro e o quarto dia, estão alinhados com Farnezi et al. (2020) para a cultivar San Andreas, os quais relataram média de 12,96 g por fruto. Entretanto, os frutos dos tratamentos PCM e PN, realizados no quinto dia, apresentaram menor peso médio. As características de comprimento e diâmetro, em função dos tratamentos de polinização, não diferiram até o quarto dia em relação à autopolinização.

Na primeira avaliação não foram observadas diferenças entre os tratamentos de polinização para a variável diâmetro, exceto para autopolinização (AP). Na segunda avaliação, o quinto dia de abertura floral no PN5 e a autopolinização apresentaram médias inferiores às registradas para os demais tratamentos. No entanto, Abrol et al. (2017), na cultivar de morango 'Chandler', constataram que a polinização natural proporcionou frutos com tamanho (diâmetro e comprimento) superior em comparação aos frutos autopolinizados. Assim, as cultivares podem apresentar diferentes graus de dependência de processos específicos de polinização.

A frequência relativa de frutos com diferentes graus de deformidade (GDF) variou entre épocas de avaliação e tratamentos ($\chi^2=113,44$ $p<0,05$ e $\chi^2=67,83$ $p<0,05$, e $n=12$, respectivamente). No primeiro período, frutos bem formados, com até 30% de deformação, compuseram a maioria até o quarto dia de polinização cruzada manual (PCM1, PCM2, PCM3 e PCM4) e até o terceiro dia de polinização livre (PN1, PN2 e PN3) (Figura 4a). No segundo período, os tratamentos com maior número de frutos e

menor percentual de deformidade incluíram os dois primeiros dias de PCM (PCM e PCM2) e os três primeiros dias de PN (PN1, PN2 e PN3) (Figura 4b).

Apenas os tratamentos PCM1, PCM2, PN1, PN2 e PN3, abrangendo o primeiro e segundo dia de polinização cruzada natural e manual e o terceiro dia de polinização natural, não apresentaram deformações severas nos dois períodos estudados. A autopolinização no primeiro período resultou em frutos 100% deformados, enquanto o segundo período apresentou 70% com deformação severa. Conforme Klatt et al. (2014), a distribuição uniforme do pólen nas flores garante a fertilização dos estigmas, resultando em crescimento uniforme do receptáculo floral e frutos bem formados. As flores de morango apresentam receptividade variada e gradual nos estigmas, podendo levar a frutos malformados, dependendo do dia da polinização. Para a cultivar Aromas, as observações revelaram maior percentual (73%) de frutos bem formados, a partir do terceiro dia de antese da flor (Barbosa & Orth, 2020). Adicionalmente, para a cultivar San Andreas, Silva et al. (2020) obtiveram frutos bem formados no primeiro dia de antese. Neste estudo, os tratamentos de polinização, após o terceiro dia, resultaram em diminuição nas porcentagens de frutos bem formados (10%), sugerindo que alguns estigmas não eram mais receptivos ou não foram fertilizados, resultando em menores taxas de fertilização e aumento nas taxas de deformação dos frutos, indicando aspectos distintos da cultivar San Andreas em relação às cultivares mais estudadas.

A porcentagem média de aquênios fertilizados (PFA) diferiu-se no primeiro período, sendo que o tratamento PCM5 obteve índice menor que os demais, aproximadamente 31% ($F_c=14,04$, $p<0,05$) (Tabela 1). Enquanto isso, nos demais tratamentos, as médias foram superiores a 60%. No segundo período, os tratamentos PN2, PN3, PN4 e PN5 apresentaram médias inferiores aos demais, inferiores a 50%. O PFA indica a eficácia da polinização (Csukasi et al., 2011), pois está intimamente relacionado à formação do fruto do morango e à massa fresca (Klatt et al., 2014). Quando os óvulos não são fertilizados, os receptáculos não se desenvolvem, resultando em frutos anormais ou de tamanho pequeno.

A análise conjunta dos dados por meio da Análise de Componentes Principais (PCA), no primeiro período, indicou que as variáveis diâmetro e PFA foram responsáveis pela variação ao longo do componente principal 1 (PC1) e explicaram 89,60% da dissimilaridade entre os tratamentos (Figura 5a). Por outro lado, as variáveis peso,

comprimento e GDF compuseram os atributos mais associados ao componente principal 2 (PC2), explicando 5,58% da variação. No segundo período, a análise dos dados revelou que, ao longo do componente principal 1 (PC1), as variáveis comprimento, GDF e PFA explicaram 80,27% da heterogeneidade entre os tratamentos (Figura 5b). Em contrapartida, diâmetro e peso expressaram 12,11% de dissimilaridade.

O gráfico de dispersão obtido por PCA sugere que o comportamento dos tratamentos polinizados, nos primeiros dias de antese, está correlacionado com peso, diâmetro, comprimento e porcentagem de aquênios fertilizados. A polinização natural e cruzada manual, nos primeiros dias de abertura das flores, resultou em distribuição mais efetiva do pólen sobre os estigmas nas regiões laterais e basais do receptáculo floral. As flores polinizadas nos primeiros dias exibiram comportamento semelhante, produzindo frutos sem deformação severa, indicando uma relação complementar entre a polinização da cultura e a formação de frutos (Klatt et al., 2014; Abrol et al., 2017). Por outro lado, flores polinizadas no quinto dia e autopolinizadas apresentaram maior correlação com o grau de deformidade.

Conclusões

1. As flores do morango cv. 'San Andreas' apresentam longevidade prolongada, permanecendo aberta até o quinto dia;
2. Os dias 1 e 2 da antese da flor representam os períodos ideais para polinização cruzada natural e manual nesta cultivar, resultando em frutos com grau reduzido de deformidade.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pela concessão da bolsa; à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pela disponibilização dos laboratórios do Centro de Pesquisa para este estudo; e à produtora Solange Moreira Gomes Soares e familiares, pela parceria e apoio às pesquisas.

Referências

- ABROL, DP; GORKA, AK; ANSARI, MJ; AL-GHAMDI, A; ALKAHTANI, S. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. Saudi J. Biol. Sci., v. 24, p.1-7, 2017. DOI: 10.1016/j.sjbs.2017.08.003
- ADDINSOFT. XLSTAT, statistical and data analysis solution. Boston, USA. <https://www.xlstat.com>. Version 19.2.2. 2019.
- ANTUNES, TO; CALVETE, EO; ROCHA, HC; NIENOW, AA; MARIANO, IF; WEAP, CL. Flowering, fruiting and fruit retention of strawberry cultivated in protected environment. Horticultura Brasileira, v.24, n.4, p.426-430, 2006.
- BARBOSA, JF; ORTH, AI. Importância da polinização biótica na produtividade de *Fragaria* × *ananassa* (Duchesne ex Weston) Duchesne ex Rozier ‘Aromas’ e a diversidade e abundância de abelhas em áreas de cultivo convencional e orgânico. Acta Biol. Par., v. 49, n.1-2, p. 37-66. 2020. DOI: 10.5380/abpr.v49i1-2.77494
- BARBOSA, JF. Ecologia da polinização de *Fragaria* x *ananassa* Duchesne cv ‘aromas’(Rosaceae) em sistemas de produção orgânico e convencional, sob proteção de túneis baixos, em Rancho queimado, SC, Brasil. 2009. 72p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil.
- BPBES/REBIPP. Relatório Temático sobre Polinização, Polinizadores e Produção de Alimentos no Brasil. 1ª edição, São Carlos, AP: Editora Cubo. DOI: 10.4322/978-85-60064-83-0. Disponível em: <http://doi.editoracubo.com.br/10.4322/978-85-60064-83-0>. Acesso em: 06 de abril de 2022.
- CARNEVSKIS, EL; LOURENÇO, LF. Agrometeorologia e climatologia. Porto Alegre: SAGAH, 2019.
- CSUKASI F et al. Gibberellin biosynthesis and signalling during development of the strawberry receptacle. New Phytol, v.191, p. 376–390, 2011. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2011.03700.

FARNEZI, BPK; OLIVEIRA, LL; SARDINHA, LT; FRANÇA, AC; MACHADO, CMM; MACEDO, LA. Produção e caracterização físico-química de morango (*Fragaria* X *Ananassa* Duch) sob diferentes fontes de adubação fosfatada. R. bras. Desenv., v. 6, n.9, p.65051–65066, 2020. DOI: 10.34117/bjdv6n9-077

GIANNINI, GC; CORDEIRO, GD; FREITAS, BM; SARAIVA, AM; IMPERATRIZ-FONSECA, VL. The Dependence of Crops for Pollinators and the Economic Value of Pollination in Brazil, J. Econ. Entomology., v.108, p.849-857, 2015. DOI: 10.1093/jee/tov093

HAMMER, O; HARPER, DAT; RYAN, PD. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. Palaeontol Electron. 4:9. 2001.

KLEIN, AM; FREITAS, BM; BOMFIM, IGA; BOREUX, V; FORNOFF, F; OLIVEIRA, MO. A Polinização Agrícola por Insetos no Brasil. Um Guia para Fazendeiros, Agricultores, Extensionistas, Políticos e Conservacionistas. Albert-Ludwigs University Freiburg, Nature Conservation and Landscape Ecology. 2020. DOI: 10.6094/UNIFR/151237

KLATT, BK; HOLZSCHUH, A; WESTPHAL, C; CLOUGH, Y; SMIT, I; PAWELZIK, E; TSCHARNTKE, T. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences 281. 2014. DOI: 10.1098/rAPb.2013.244

MALAGODI-BRAGA KS. Estudo de agentes polinizadores em cultura de morango (*Fragaria* x *ananassa* Duchesne – Rosaceae). 2002. 104p.Tese (Doutorado) – Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo, Brasil, 104p.

MALAGODI-BRAGA KS. A polinização como fator de produção na cultura do morango. Comunicado Técnico 56. Jaguariúna, AP: Embrapa Meio Ambiente. 2018.

MARTINEZ, SJ; BRESSANI, APP; MIGUEL, MGCP; DIAS, DR; SCHWAN, RF. Different inoculation methods for semi-dry processed coffee using yeasts as starter

cultures Food Research International, v. 102, p. 333-340, 2017. DOI: 10.1016/j.foodres.2017.09.096

PBMH; PIMO. Programa Brasileiro para a modernização da Horticultura & produção integrada de morango. Normas de Classificação de Morango. São Paulo: CEAGEAP, (Documentos, 33). 2009.

PREFEITURA MUNICIPAL DE BARRA DO CHOÇA. Disponível em: <http://barradochoca.com.br/home/pagina/post>. Acesso em: 06 de abril de 2022.

RAVEN, PH; EVERT, RF; EICHHORN, SE. Biologia vegetal. 6. Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001, 654p.

RAMÍREZ, F; KALLARACKAL, J. Tree Pollination Under Global Climate Change. Switzerland: APringer Briefs in Agriculture, 2018.

SANTOS, C; NAVE, A; COSTA, CA; COSTA, D. Qualidade comercial de duas cultivares de morangos produzidos em sistema sem solo. 2015. Disponível em: http://www.aphorticultura.pt/uploads/4/8/0/3/48033811/qualidade_comercial.pdf. Acesso em: 14 de abril de 2022.

SILVA, GR; GUSMÃO, ALJ; RIBEIRO, GS; PÉREZ-MALUF, R. Pollination service of *Nannotrigona testaceicornis* stingless bees in strawberry. Arq Inst Biológico, v.87, 2020. DOI: 10.1590/1808-1657000292019

WITTER, S; NUNES-SILVA, P; BLOCHTEIN, B; LISBOA, BB; IMPERATRIZ-FONSECA, VL. As abelhas e a agricultura. EDIPUCRS – Editora Universitária da PUCRS, Porto Alegre – RS – Brasil, 2014, p. 12-18.

WITTER, S; RADIN, B; LISBOA, BB; TEIXEIRA, JSG; BLOCHTEIN, B; IMPERATRIZ-FONSECA VL. 2012. Desempenho de cultivares de morango submetidas a diferentes tipos de polinização em cultivo protegido. Pesq Agropec Bras., v.47, p. 58-75, 2012. DOI: /10.1590/S0100-204X2012000100009

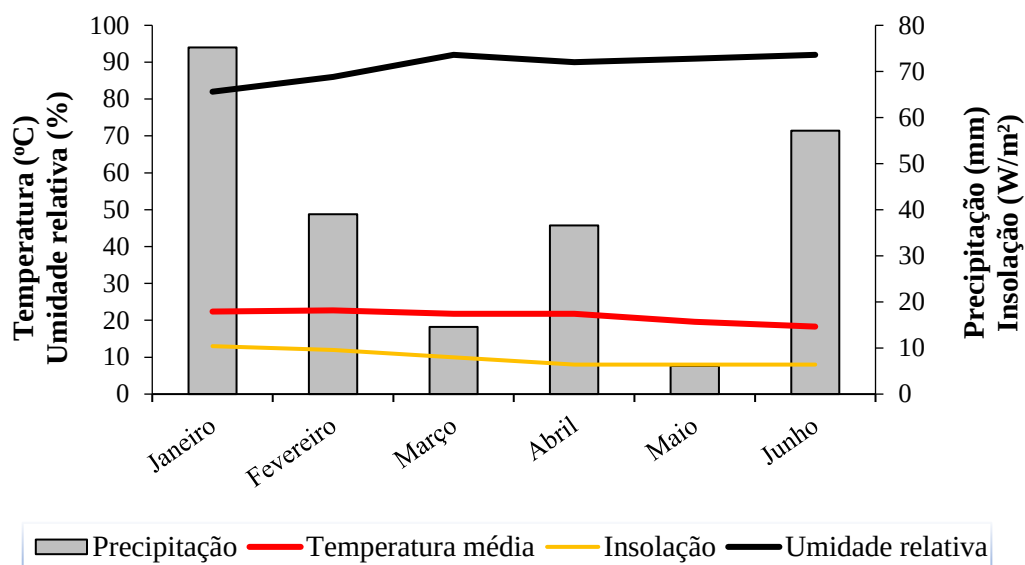


Figura 1. Dados climáticos da estação meteorológica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia.

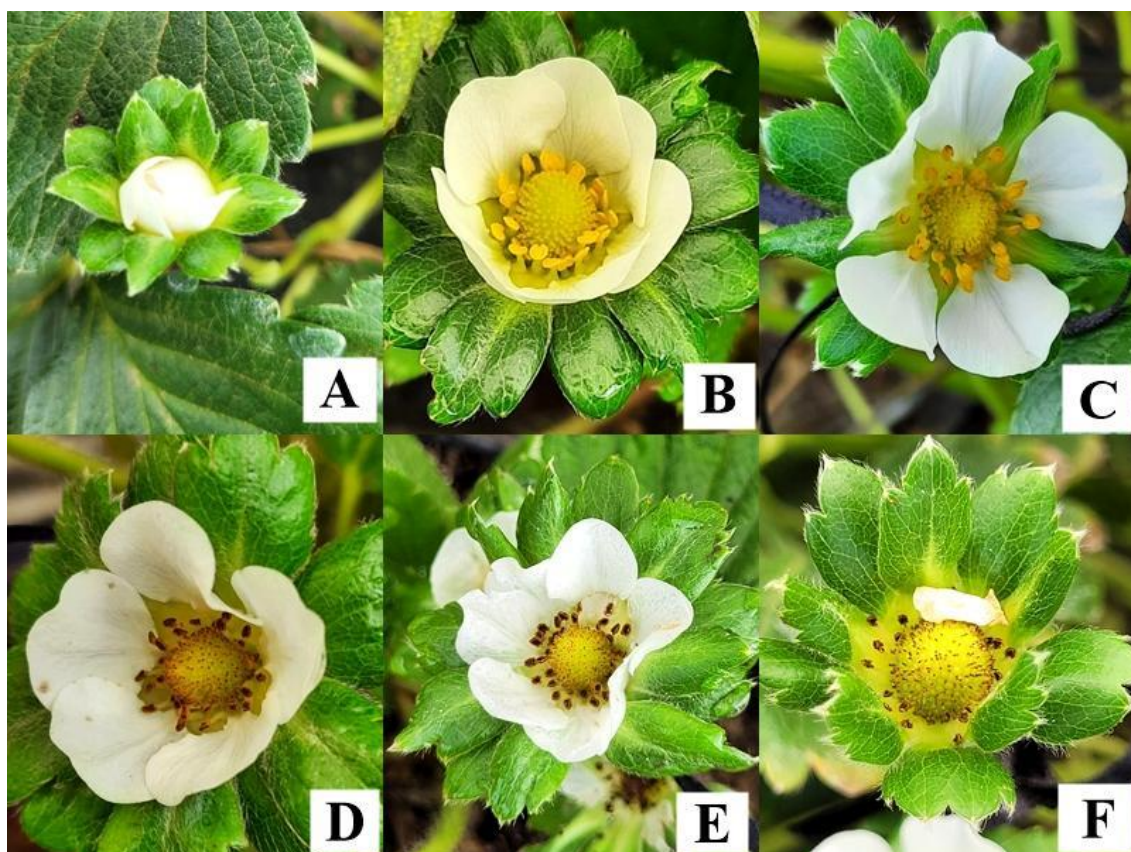


Figura 2. Flores de *Fragaria x ananassa* cv 'San Andreas' em diferentes dias após a abertura floral. Botão floral (A); primeiro dia (B); segundo dia (C); terceiro dia (D); quarto dia (E) e quinto dia (F). Barra do Choça, BA, 2022.

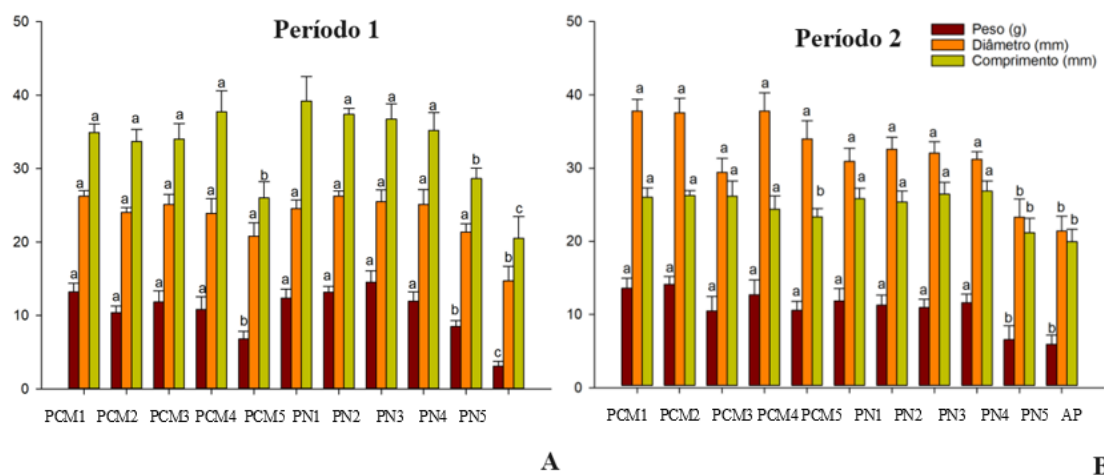


Figura 3. Análises físicas dos frutos do morangueiro cv. 'San Andreas' resultante da polinização realizada entre o período 1 - verão (A) e o período 2 - outono (B) organizado em onze tratamentos. Tratamentos: PCM, polinização cruzada manual dias 1 ao 5; PN, polinização natural, dias 1 ao 5; AP, autopolinização.

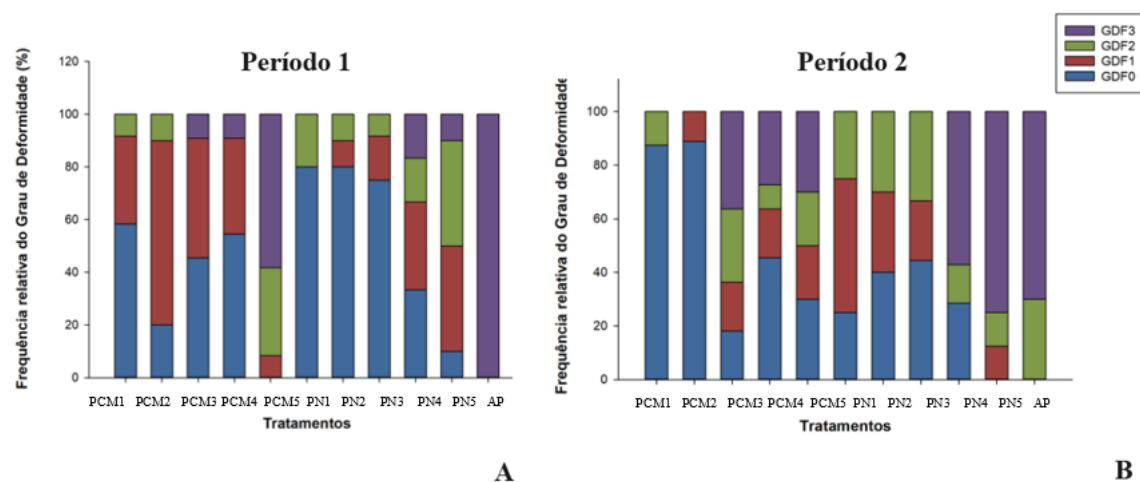


Figura 4. Porcentagem de frutos de morango na cv. 'San Andreas' com diferentes graus de deformação (GDF) resultantes dos cinco tratamentos. Período 1 – verão (A) e período 2 – outono (B). GDF0, frutos bem formados; GDF 1, deformação até 30%; GDF 2, deformação entre 30-60%; GDF 3, deformação acima de 60% (PBMH & PIMO, 2009). Tratamentos: PCM, polinização cruzada manual, dias 1 a 5; PN, polinização natural, dias 1 a 5; AP, autopolinização.

Tabela 1. Porcentagem de aquênios fertilizados (PAF) nos dois períodos avaliados no morango na cv. ‘San andreas’, resultantes dos onze tratamentos

Tratamentos	Período I	Período II
	Porcentagem de aquênios fertilizados	Porcentagem de aquênios fertilizados
	(PAF)	(PAF)
PCM1	81.34 a	74.84 a
PCM2	84.56 a	83.32 a
PCM3	83.20 a	62.44 a
PCM4	84.93 a	63.95 a
PCM5	30.96 b	59.30 a
PN1	85.71 a	59.39 a
PN2	80.09 a	46.63 b
PN3	68.60 a	50.53 b
PN4	67.87 a	45.97 b
PN5	70.57 a	38.06 b
AP*	ND*	ND*
CV %	16.82	29.72

Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Scott-Knott ($p = 0,05$).

* O AP não formou frutos compatíveis para esta avaliação, sendo obtidos frutos com elevado grau de deformação

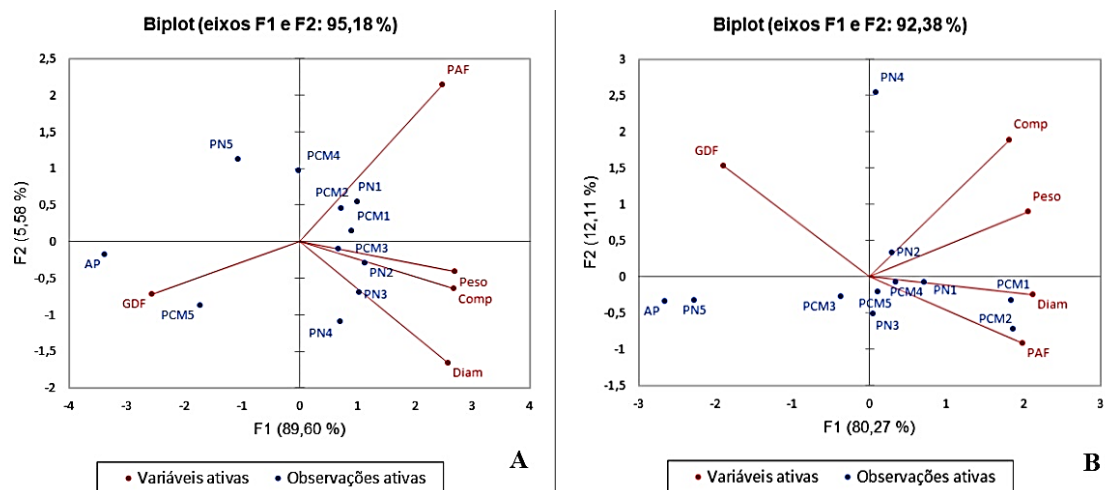


Figura 5. Diagramas de ordenação produzidos pela análise de componentes principais das variáveis: peso, diâmetro, comprimento, grau de deformidade (GDF), dos frutos de morangueiro na cv. ‘San andreas’ e porcentagem de aquênios fecundados (PAF) nos tratamentos.

Tratamentos: PCM, polinização cruzada manual dias 1 a 5; PN, polinização natural, dias 1 a 5; AP, autopolinização

4. ARTIGO II:

Avaliação do adensamento de abelhas-sem-ferrão para melhorar o serviço de polinização: um estudo de caso no cultivo de morango em condições de campo

***Situação:** Publicado

<https://doi.org/10.5141/jee.24.014>

Avaliação do adensamento de abelhas-sem-ferrão para melhorar o serviço de polinização: um estudo de caso no cultivo de morango em condições de campo

PRISCILA SILVA MIRANDA¹

<https://orcid.org/0000-0001-6480-7805>

ZILDA CRISTINA MALHEIROS LIMA¹

<https://orcid.org/0000-0002-8383-8292>

RAQUEL PÉREZ-MALUF¹

<https://orcid.org/0000-0001-5385-0760>

PAULO HENRIQUE MARQUES MONROE¹

<http://orcid.org/0000-0002-0000-3426>

ALDENISE ALVES MOREIRA¹

<https://orcid.org/0000-0002-2362-9624>

¹Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB, Brasil. Estrada Bem Querer, Km-04, 45033-300, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

*Correspondência: e-mail: miranda.priscila48@gmail.com

Avaliação do adensamento de abelhas-sem-ferrão para melhorar o serviço de polinização: um estudo de caso no cultivo de morango em condições de campo

Resumo

Experiência: A polinização é um serviço ecossistêmico de extrema importância para a agricultura. Nesse sentido, o estudo teve como objetivo avaliar o serviço de polinização de abelhas de ocorrência natural e após adensamento com colônias de abelhas-sem-ferrão (*Nannotrigona testaceicornis* e *Tetragonisca angustula*) em plantio comercial de morango. O estudo foi realizado nas quatro estações do ano e sob duas condições experimentais: polinização natural e polinização sob adensamento de abelhas. Foram estimadas a oferta de flores e a densidade de abelhas. Para adensamento das abelhas, foram colocadas quatro caixas de colônias de abelhas Iraí e quatro de abelhas Jataí, próximas à plantação de morango. Foram estabelecidos cinco tratamentos para cada condição, considerando

polinização natural (PN) e polinização com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias da antese das flores, variando do 1º ao 5º dia. Os frutos foram colhidos, quantificados e submetidos a avaliações para determinação de biometria, grau de deformidade e porcentagem de aquênios fecundados.

Resultados: Houve maior densidade no verão em relação às demais estações em ambas as condições avaliadas. O peso foi maior (20,19g) quando os frutos foram polinizados no primeiro dia após a antese floral em condições de polinização com adensamento de abelhas. Observou-se que a polinização livre proporcionou frutos com maior deformação nas flores no quarto e quinto dia após a antese. Porém, quando a densidade de abelhas aumentou, o maior grau de deformidade foi observado apenas nos frutos do quinto dia. O adensamento com abelhas-sem-ferrão proporcionou aumento de 50% no número de abelhas presentes no morangueiro, no verão, e também aumento de 15% no peso dos frutos e ocorrência de menor grau de deformidade dos frutos.

Conclusões: O adensamento com abelhas-sem-ferrão proporcionou aumento de 50% no número de abelhas presentes no morangueiro no verão, com melhoria na qualidade dos frutos e no valor comercial agregado, proporcionando aumento de 15% no peso dos frutos e menor grau de deformidade nas condições de adensamento de abelhas Iraí (*N. testaceicornis*) e Jataí (*T. angustula*). Nas condições avaliadas, recomenda-se a introdução de caixas de abelhas-sem-ferrão no verão.

Palavras-chave: *Fragaria* × *ananassa*. Cv. San Andreas. *Nannotrigona testaceicornis*. *Tetragonisca angustula*. Polinização.

Introdução

Os serviços ecossistêmicos garantem ao ser humano e ao meio ambiente benefícios relacionados à produção de alimentos, conservação da diversidade biológica, recuperação de agroecossistemas; e um modelo de desenvolvimento econômico que valorize e preserve esses serviços pode contribuir para alcançar o bem-estar social e econômico de mais pessoas (CGEE 2017). Dentre esses serviços, a polinização é um serviço ecossistêmico de extrema importância para a agricultura, contribuindo para a produção de alimentos, além de aumentar a qualidade ambiental, garantindo a reprodução e a variabilidade genética das espécies vegetais. Os insetos estão entre os principais grupos de animais polinizadores, considerados os principais polinizadores da flora do planeta, principalmente as abelhas, que são os principais agentes polinizadores (Inouye 2013).

Enquanto as abelhas obtêm o néctar e o pólen necessários para se alimentarem e produzirem mel, a agricultura beneficia-se da polinização, o que aumenta a produtividade e garante frutos de maior qualidade e, conseqüentemente, maior valor de mercado. Estudos têm destacado a grande importância das abelhas na polinização de culturas agrícolas (Garibaldi et al., 2013; Giannini et al. 2015). Devido à sua abundância em

diferentes ecossistemas, as abelhas aparecem primeiro, quando se trata de polinizadores para a agricultura (Klein et al. 2007). Segundo pesquisas nas áreas de interação, polinização e agricultura, os frutos polinizados apresentam maior número de sementes, maior homogeneidade na maturação, formato mais uniforme, maior valor nutricional e maior vida útil (Klatt et al. 2014).

O manejo adequado dos polinizadores é uma alternativa para aumentar a produção agrícola e superar o déficit de polinização nas plantas cultivadas. Alguns estudos têm demonstrado a eficiência das abelhas-sem-ferrão como polinizadores, e gêneros como *Geotrigona*, *Melipona*, *Nannotrigona*, *Partamona*, *Plebeia*, *Scaptotrigona* e *Trigona* foram observados polinizando diversas culturas agrícolas (Slaa et al. 2006), tais como: café, abacate, morango, pimenta, tomate, entre outros. As abelhas-sem-ferrão possuem grande potencial para polinização agrícola, são sociais e formam colônias perenes e populosas com grande fluxo de atividade, não representando riscos à saúde humana por possuírem ferrão atrofiado (Michener 2007). Nessas perspectivas, as abelhas-sem-ferrão das espécies Iraí (*Nannotrigona testaceicornis*) e Jataí (*Tetragonisca angustula*) são polinizadores promissores para diferentes culturas agrícolas, promovendo aumento na produção e qualidade dos frutos (Malagodi-Braga e Kleinert 2004; Silva et al. 2020). No Brasil, foram publicados alguns estudos com Iraí, por exemplo, sobre polinização em cultivo protegido de pepino (Santos et al. 2008; Nicodemo et al. 2013). No cultivo do morango, Roselino et al. (2009) observaram que, no cultivo protegido, a qualidade dos frutos melhorou. Os mesmos autores também relataram o longo tempo gasto visitando flores para coletar pólen e néctar, favorecendo o processo de polinização. Segundo Lorenzon e Morado (2014), a abelha Jataí é de suma importância para diversas culturas, citando-a como forrageadora de manga, goiaba, ingazeiro, entre outros. Ferreira e cols. (2020) observaram que, em todas as estações do ano, as abelhas Jataí se alimentam de diversas espécies, hortaliças, diversas espécies de árvores frutíferas e plantas medicinais, condimentares e aromáticas, entre outras espécies que florescem ao longo do outono, inverno, primavera e verão.

O morango é vendido principalmente *in natura* e, por isso, o mercado fica cada dia mais exigente com sua qualidade. Contudo, para obter morangos de boa qualidade e garantir uma boa produtividade, a polinização por abelhas é um fator importante na produção de morangos (Malagodi-Braga 2018). Klatt et al. (2014) observaram, em nove cultivares de morango, que flores polinizadas por abelhas resultaram em frutos com alto valor comercial, sendo que a polinização por abelhas aumentou em média o valor

comercial por fruto em 38,6%, em comparação à polinização pelo vento; e em 54,3%, em comparação à autopolinização. Dessa forma, a valorização comercial dos frutos de morango para o mercado *in natura* está diretamente relacionada ao serviço de polinização.

Nesse contexto, o estudo teve como objetivo avaliar o serviço de polinização de abelhas de ocorrência natural e após adensamento com colônias de abelhas-sem-ferrão (*Nannotrigona testaceicornis* e *Tetragonisca angustula*) em plantio comercial de morango.

Material e Métodos

Caracterização da área de estudo

O estudo foi realizado no município de Barra do Choça, região do Planalto da Conquista, com latitude 14° 52' Sul e longitude 40° 34' Oeste e altitude média de 900 m acima do nível do mar (Prefeitura Municipal de Barra do Choça 2020).

Os experimentos foram realizados em um plantio comercial com manejo semiorgânico (uso de fertirrigação sempre que necessário) em campo aberto sob proteção de túneis baixos de morangueiro da cultivar ‘San Andreas’ (área plantada de 30x30m). As avaliações foram desenvolvidas nas quatro estações do ano de 2022: verão (janeiro-fevereiro), outono (abril-maio), inverno (julho-agosto) e primavera (outubro-novembro); e aplicadas durante trinta dias de cada estação, com as mesmas condições para todos os tratamentos, sendo os seguintes dados climáticos obtidos na Estação Meteorológica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (Figura 1).

Densidade de flores e densidade de abelhas

A densidade de flores foi estimada pela contagem do número de flores abertas/m² e a densidade de abelhas pela contagem do número de abelhas em 100 flores no plantio, com base no protocolo da FAO (Vaissière et al. 2011), sendo as flores avaliadas nas quatro caixas, antes e depois da instalação das colônias. As observações foram realizadas em todos os dias de observação de campo com quatro repetições aleatórias.

Adensamento de abelhas-sem-ferrão

Quatro caixas de colônias povoadas com aproximadamente 2.000 indivíduos cada de abelhas Iraí (*N. testaceicornis*) e quatro caixas com aproximadamente 2.000 indivíduos cada de abelhas Jataí (*T. angustula*) foram colocadas próximas à plantação de morango (5 metros). As oito caixas de abelhas foram inseridas na plantação de morango, onde

foram aplicados todos os tratamentos, de forma que todos os tratamentos avaliados nesta plantação foram expostos às mesmas condições ambientais e densidade de abelhas. Após a inserção das colônias, foram aguardados 15 dias para que elas se adaptassem ao campo, e, somente após esse período, foram realizadas avaliações experimentais.

As colônias de abelhas foram cedidas pelo Setor de Apicultura e Meliponicultura da UESB. Estas espécies ocorrem naturalmente na região e são facilmente manejadas em caixas racionais.

Seleção de botões florais para polinização

Os botões florais foram escolhidos aleatoriamente para todos os tratamentos, sendo selecionados apenas os botões primários das inflorescências um dia antes de sua antese, os quais foram protegidos com tecido voil. No dia de cada tratamento, a proteção foi retirada, deixando as flores à disposição dos visitantes por 24 horas e novamente protegidas conforme os tratamentos.

Experimentos de Polinização

Os tratamentos foram realizados em canteiros com duas fileiras e onze túneis, utilizando delineamento experimental inteiramente casualizado com seis repetições cada.

No primeiro experimento, em condições naturais de plantio, foram realizados cinco tratamentos com Polinização Natural (PN), variando a polinização em relação ao dia da antese floral, organizados da seguinte forma: PN1 (1º dia de antese), PN2 (2º dia de antese), PN3 (3º dia de antese), PN4 (4º dia de antese) e PN5 (5º dia de antese).

No segundo experimento, com adensamento de abelhas Iraí e Jataí, foram realizados cinco tratamentos semelhantes ao primeiro tratamento, variando também o dia da antese floral: Polinização com adensamento de abelhas (PAA) - PAA1 (1º dia de antese), PAA2 (2º dia de antese), PAA3 (3º dia de antese), PAA4 (4º dia de antese) e PAA5 (5º dia de antese).

Colheita e avaliações

Os frutos resultantes dos tratamentos foram colhidos e quantificados, quando 75% de sua superfície externa estava vermelha e totalmente madura. Os frutos foram levados ao Laboratório de Biodiversidade do Semiárido (LABISA) da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) para determinação de seus parâmetros físicos.

As avaliações foram realizadas no mesmo dia da colheita e a biometria dos frutos foi determinada com base nos seguintes parâmetros: massa fresca (g), comprimento longitudinal (mm) e diâmetro equatorial (mm).

Os frutos foram classificados em categorias, de acordo com o grau de deformação, adotadas pelas normas do Programa Brasileiro de Modernização da Horticultura e da Produção Integrada de Morango (PBMH; PIMO 2009): bem formados (0), deformação leve (até 30%), deformação média (entre 30% e 60%) e deformação severa (acima de 60%). Ao final, os frutos foram separados para determinação da taxa de fertilização dos aquênios, utilizando-se a metodologia proposta por Thompson (1971), que consistiu em retirar os aquênios com auxílio de uma pinça e colocá-los em recipientes com água para determinar sua capacidade de flutuabilidade. Os aquênios que afundaram em solução aquosa foram considerados viáveis, e os que flutuaram foram considerados inviáveis.

A porcentagem de aquênios fertilizados (PFA) foi calculada segundo a fórmula:
$$PFA = (\text{número de aquênios fertilizados} / \text{número de aquênios por fruto}) \times 100.$$

Análises Estatísticas

Os dados das diferentes avaliações (oferta de flores, densidade de abelhas, biometria de frutos) foram submetidos a testes de normalidade e homogeneidade, procedendo-se à análise de variância. Posteriormente, essas variáveis tiveram as médias de seus tratamentos comparadas pelo teste de Scott Knott a 5% de probabilidade, utilizando-se o software estatístico SISVAR versão 5.8. As porcentagens de formação de frutos, deformação e aquênios fertilizados foram analisadas pelo teste Qui-Quadrado com probabilidade menor ou igual a 5%, utilizando-se o software PAST (Hammer et al. 2001).

Adicionalmente, os dados foram submetidos à análise de componentes principais (PCA), utilizando-se o software XLSTAT® versão 19.2.2 (Addinsoft 2019) para determinar a relação entre as variáveis (abelhas, peso, diâmetro, comprimento, porcentagem de aquênios fertilizados e grau de deformidade) e os tratamentos diferentes.

Resultados

Densidade de flores e densidade de abelhas

A oferta de flores variou ao longo das estações, sendo que o outono e o inverno tiveram a maior oferta média (valores médios acima de 20 flores/m²), e no verão a oferta foi a mais baixa (valores médios abaixo de 10 flores/m²) (Tabela 1).

Em relação à presença de abelhas nas flores, houve maior densidade no verão em comparação às demais estações em ambas as condições avaliadas, com aumento de 50% na densidade de abelhas nas flores após a introdução das caixas na área de cultivo (Tabela 1).

Tabela 1: Número médio de flores (m²) e abelhas (100 flores) no cultivo do morangueiro cultivar ‘San Andreas’, +/- desvio padrão, em condições naturais e após adensamento de abelhas Iraí e Jataí, nas quatro estações do ano. Barra do Choça-BA

Estações	Flores – m ²		Abelhas - 100 flores	
	Sem adensamento	Adensamento	Sem adensamento	Adensamento
Verão	8.25 +/- 3,77aB	9.55 +/- 4,15 aC	16.35 +/- 7,49 bA	24.55 +/- 6,06 aA
Outono	21.60 +/- 7,67 aA	22.75 +/- 12,08 aA	1.05 +/- 1,43 bB	1.35 +/- 1,82 bB
Inverno	20.15 +/- 6,88 aA	19.40 +/-11,82 aAB	1.15 +/- 1,14 bB	4.30 +/- 0,81 bB
Primavera	11.65 +/- 3,10 aB	12.45 +/-4,57 aBC	1.95 +/- 1,27 bB	3.95 +/- 5,23 bB

Grau de liberdade = 39

Médias seguidas de mesma letra, minúsculas nas linhas e maiúsculas nas colunas, não diferem entre si pelo teste de Scott Knott a 5%.

Considerando que apenas o verão apresentou aumento significativo no número de abelhas, os parâmetros dos frutos das diferentes condições de polinização foram avaliados exclusivamente nesta estação.

Avaliações dos Frutos

A quantidade de frutos formados nos diferentes tratamentos em função da antese floral não se diferiu ($\chi^2 = 6,91^{ns}$).

Considerando as características físicas dos frutos, observou-se que o peso foi maior (20,19g), quando os frutos foram polinizados no primeiro dia após a antese floral, em condições de polinização com adensamento de abelhas, sendo superior aos demais tratamentos (Figura 2a). Para a polinização em condições naturais, os maiores pesos médios ocorreram no primeiro, segundo e terceiro dia após a antese, com médias de 17,62g, 14,48g e 12,46g, respectivamente (Figura 2a), mostrando aumento de 15% apenas

no peso dos frutos, quando a polinização ocorreu no primeiro dia após a antese com adensamento das abelhas.

Para as variáveis comprimento e diâmetro, não foram observadas diferenças entre os dias em condições de polinização natural; enquanto em condições de adensamento, os frutos do primeiro, segundo e terceiro dias após a antese floral apresentaram maiores valores médios de comprimento. Para diâmetro, apenas os frutos do primeiro e segundo dias foram superiores.

Em relação ao grau de deformidade dos frutos (GDF), houve diferença entre os tratamentos ($X^2 = 113,57$ $p < 0,0001$). Observou-se que a polinização livre proporcionou frutos com maior grau de deformação das flores no quarto e quinto dia após a antese (Figura 3). Contudo, quando a densidade de abelhas aumentou, o maior grau de deformidade foi observado apenas nos frutos do quinto dia.

Porcentagem de aquênios fertilizados

A porcentagem média de aquênios fertilizados (PFA) mostrou que, em condições de polinização natural, o primeiro e o segundo dia de abertura da flor apresentaram as maiores percentagens (86% e 85%, respectivamente), não diferindo entre si. Na polinização com adensamento de abelhas, os dias com maiores valores foram o primeiro, segundo e terceiro (90%, 90% e 85%).

Análise conjunta

A análise conjunta dos dados, por meio de PCA, mostrou que abelhas e flores foram responsáveis pela variação ao longo do componente principal 1 (PC1) e explicaram 72,57% da dissimilaridade (Figura 4). As variáveis peso, diâmetro, comprimento, GDF e PFA foram os atributos mais associados ao componente principal 2 (PC2), que explicou 19,80% da variação entre os tratamentos.

A dispersão gráfica fornecida pela PCA foi apresentada em duas dimensões e mostrou que os parâmetros biométricos dos frutos estão associados aos dias de polinização após a antese, sendo mais influenciados nos dias 1, 2 e 3 (PN1, PN2, PN3, PAA1, PAA2, PAA3). O grau de deformação está mais correlacionado ao quinto dia após a antese, e o PFA (porcentagem de aquênios fecundados) está correlacionado ao primeiro dia de polinização após a antese com adensamento (PAA1). O número de abelhas está correlacionado com a densidade de abelhas.

Discussão

O cultivo do morango apresentou variações na oferta de flores no ano de avaliação, com maior número de flores no outono e no inverno, meses nos quais ocorreram as menores temperaturas nas condições de estudo. A cultivar ‘San Andreas’ é considerada uma cultivar de fotoperíodo neutra, que floresce em temperaturas que variam entre temperaturas iguais ou inferiores a 10°C e superiores a 28°C (Costa et al. 2014). No entanto, conforme observado por Taylor (2002), a cultura do morango comporta-se melhor em temperaturas diurnas, em torno de 18 °C, corroborando os nossos resultados.

A densidade de abelhas nas flores foi influenciada pelas estações do ano, marcadas pelo clima semiárido característico da região, com efeito da temperatura, insolação e precipitação no forrageamento dos indivíduos. A influência de fatores climáticos no fluxo da atividade externa das abelhas tem sido abordada em diferentes espécies, e há evidências positivas na intensidade de forrageamento relacionadas com a temperatura e intensidade luminosa (De Bruijn e Sommeijer 1997; Silva e Gimenes 2014; Palma et al. 2008). Nas condições deste estudo, houve atividade das abelhas nas diferentes estações do ano, mas com redução significativa nas estações mais frias.

Para garantir o serviço ecossistêmico de polinização, é fundamental manter colônias/caixas próximas às culturas e com boa densidade. Algumas culturas são especialmente atrativas para as abelhas, como soja, girassol, café, algodão, morango, frutas cítricas, pêssgo, abóbora, melão e muitas outras. Para se obter uma boa polinização, o número de colônias/caixas na área de cultivo deve ser elevado, variando entre 4 ou 6 colônias/caixas por hectare de *Apis mellifera*, de acordo com as necessidades da cultura-alvo e das condições climáticas (Wolff et al. 2022). No presente estudo, optou-se por adicionar oito colônias (quatro de cada) para garantir maior sucesso na polinização e por serem duas espécies diferentes (Jataí e Iraí) e menores em tamanho. No estado do Espírito Santo, Ferreira et al. (2020) observaram que, em todas as estações do ano, as abelhas Jataí forrageavam espécies vegetais, hortaliças diversificadas, diversas espécies de árvores frutíferas e plantas medicinais, entre outras espécies, que floresciam no outono, inverno, primavera e verão.

Nesse aspecto, Alves et al. (2015) constataram que a espécie Iraí forrageia mesmo em dias frios, mas retorna do campo mais cedo e fecha rapidamente a entrada do ninho, enquanto nas estações quentes do ano, caracterizadas por altas temperaturas e longos

períodos de luz, forrageia por mais tempo, atrasando seu retorno ao ninho até depois do pôr do sol.

Os serviços de polinização, associados ao comportamento das abelhas nas flores, são importantes no cultivo do morangueiro, principalmente quando a polinização é favorecida no primeiro dia da antese floral. Não houve aumento apenas no peso dos frutos, mas também na proporção de frutos com menor grau de deformação e maior fecundação de aquênios. O comportamento das visitas de abelhas de diferentes espécies às flores resulta em uma distribuição uniforme do pólen nos pistilos, produzindo frutos bem formados e mais pesados (Scheid et al. 2020). O serviço de polinização pelas abelhas Jataí e Iraí proporciona aumento de 15% no peso, o que contribui para o potencial produtivo da cultivar. Em cultivares como ‘Oso Grande’ e ‘Sweet Charlie’, as abelhas Jataí (*T. angustula*) demonstraram eficácia na polinização, além de reduzirem o percentual de frutos deformados, apresentando aumento no peso dos frutos (Malagodi-Braga 2018). Assim como as abelhas Iraí (*N. testaceicornis*), observadas no estudo de Silva et al. (2020), as visitas de abelhas também proporcionaram aumento de peso para a mesma cultivar do presente trabalho.

Nota-se que o aumento da massa do receptáculo do morango não resulta necessariamente em aumento proporcional do diâmetro e comprimento do fruto. Isto sugere que o desenvolvimento dos frutos pode ocorrer de forma independente em diferentes aspectos, como tamanho e peso. Esta descoberta pode ter implicações importantes para a compreensão dos processos de crescimento e desenvolvimento dos morangos, bem como influenciar as práticas de cultivo e a seleção de variedades.

Essa relação pode variar, dependendo de vários fatores, como a variedade do morango, as condições de cultivo, o ambiente em que são cultivados e o tipo de polinização ocorrida. Em estudo semelhante, avaliando o desempenho de cultivares de morango submetidas a diferentes tipos de polinização em cultivo protegido, Witter et al. (2012) também não encontraram correlação entre peso e diâmetro do fruto, em que nem sempre o fruto com maior peso era aquele com maior diâmetro.

As diferentes análises dos resultados mostram que o maior ou menor grau de deformação dos frutos está associado ao período de exposição da flor após a antese, e quanto mais tarde a flor for polinizada, maior será o grau de deformação. As deformações nos frutos de morango são devidas à má polinização, através de estigmas não fertilizados nas regiões basal, lateral e apical do receptáculo floral (Ariza et al. 2011). Assim, pode-se considerar que a polinização nos primeiros dias de antese floral proporciona

fecundação uniforme dos estigmas, provocando crescimento homogêneo do receptáculo floral, resultando em frutos bem formados.

Observou-se que o adensamento de abelhas na área se estendeu até o quarto dia de abertura das flores para que ocorresse a polinização, quando os frutos estavam 83,33% aptos para o mercado de consumo *in natura*, pois estavam bem formados.

No quinto dia, tanto sob polinização natural quanto sob polinização com adensamento de abelhas, as flores apresentaram maiores índices de deformação grave, sendo consideradas inadequadas para o mercado de consumo *in natura* (66,66% e 50%, respectivamente). Provavelmente, isso se deve ao tempo de abertura das flores e ao fato de estarem ensacadas, quando pode ter ocorrido a autopolinização, resultando em alta frequência de frutos com graves deformações. Resultados corroborantes foram encontrados por Zapata et al. (2014), em que, embora a flor do morangueiro fosse considerada autofértil, a autopolinização não foi capaz de distribuir o pólen de maneira uniforme entre os estigmas, fato que deu origem a frutos deformados.

As deformidades ocorrem quando os aquênios não estão totalmente fecundados, o receptáculo não se desenvolve completamente e apresenta diferentes graus/níveis de deformação. Portanto, o desenvolvimento completo do receptáculo floral está associado à fecundação de todos os pistilos (Malagodi-Braga 2018). Sheid et al. (2020), em estudo sobre a eficácia das abelhas como polinizadoras de morango, relataram que a cultivar ‘San Andreas’ era dependente da polinização biótica das abelhas, apresentando aumento significativo na fertilização de aquênios com visitas realizadas com diferentes espécies. No presente estudo, o parâmetro porcentagem de aquênios fertilizados indicou que, no primeiro e segundo dias, houve maior taxa em ambas as condições de polinização (PN e PAA); e no terceiro dia, com adensamento das abelhas, o aumento dos primeiros dias foi mantido, assumindo que a presença de abelhas favorece a fecundação dos aquênios.

Os resultados obtidos pela dispersão gráfica dada pela PCA sugerem que variações nas características biométricas estão associadas ao dia da polinização após a antese, e o adensamento das abelhas promoveu maior presença de abelhas no campo. As abelhas presentes em condições naturais no ambiente podem não ser suficientes para um serviço ecossistêmico de polinização, e a introdução de abelhas-sem-ferrão pode trazer grandes benefícios. Albano et al. (2009) recomendam que, para garantir a polinização do morango durante todo o ano, os produtores de morango devem tirar proveito de vários polinizadores, tais como abelhas nativas, abelhas melíferas e moscas, para prolongar a atividade de polinização e aumentar a resiliência da comunidade de polinizadores contra

as mudanças ambientais. Embora no Brasil o aluguel de colmeias (apicultura migratória) não seja uma prática comum, considerando que no clima tropical há maior número de polinizadores, como coleópteros, dípteros e outros, há um interesse crescente entre os produtores rurais em se utilizar abelhas para aumentar a produtividade (Vieira et al. 2010; Salomé e Orth 2014).

De modo geral, os resultados confirmam que o serviço de polinização por abelhas proporciona melhorias de qualidade, em termos de formação de frutos, reduzindo o grau de deformação dos frutos polinizados de morango até o quarto dia da estação verão, sendo considerado viável para o mercado de consumo *in natura*.

Para as demais estações (outono, inverno e primavera), sugere-se a complementação com outras espécies de polinizadores com diferentes tamanhos corporais e comportamentos de forrageamento, o que pode contribuir para garantir a produção, minimizar os déficits de polinização e, assim, aumentar o rendimento das culturas.

A utilização de abelhas-sem-ferrão na agricultura familiar oferece uma série de vantagens significativas. Além da baixa exigência de investimento inicial, essas abelhas são menos agressivas em comparação às abelhas melíferas tradicionais, o que reduz a necessidade de equipamentos de proteção. Isso torna-os especialmente acessíveis aos pequenos agricultores que, muitas vezes, têm recursos limitados. O mel produzido por essas abelhas tem geralmente um elevado valor acrescentado, devido à sua qualidade e ao seu apelo como produto natural e sustentável, podendo ainda representar uma fonte adicional de renda para os agricultores familiares, seja através da venda direta de mel ou de produtos derivados, como própolis, geleia real e cera (Magalhães e Venturieri 2010). Há um número crescente de estudos que mostram os benefícios do uso de abelhas-sem-ferrão na agricultura (Jalil e Roubik, 2017; Quezada-Euán 2018). Entretanto, é necessário que as práticas e a gestão da atividade a transformem em uma ferramenta de desenvolvimento, tornando-a mais produtiva e aumentando a renda dos criadores (Jaffé et al. 2013).

Em suma, a utilização de abelhas-sem-ferrão na agricultura familiar é uma estratégia promissora que combina benefícios econômicos, ecológicos e sociais, contribuindo para a sustentabilidade e o desenvolvimento das comunidades rurais. É uma atividade fácil de gerenciar e de baixo custo, que pode ser encontrada em diversas partes do mundo (Cortopassi-Laurino 2017).

Conclusões

A densidade com abelhas-sem-ferrão proporcionou aumento de 50% no número de abelhas presentes no morangueiro, no verão, com melhoria na qualidade dos frutos e no valor comercial agregado, proporcionando aumento de 15% no peso dos frutos e menor grau de deformidade nas condições de adensamento de abelhas Iraí (*N. testaceicornis*) e Jataí (*T. angustula*).

Nas condições avaliadas, recomenda-se a introdução de caixas de abelhas-sem-ferrão no verão.

Aprovação ética e consentimento para participação: Não aplicável.

Consentimento para publicação: Não aplicável.

Disponibilidade de dados e materiais: Os conjuntos de dados gerados e/ou analisados durante o presente estudo estão disponíveis no autor correspondente mediante solicitação razoável.

Conflitos de interesses: Não aplicável.

Financiamento: Esta pesquisa foi financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), com apoio do Programa de Pós-Graduação em Agronomia (PPGA) da UESB.

Contribuições dos autores: PSM e RPM conceberam a ideia desenhada no estudo. PSM, ZCML e RPM contribuíram na preparação, quantificação das amostras e condução dos experimentos de campo. AAM, PHMM e RPM revisaram o manuscrito. Todos os autores redigiram o artigo e aprovaram a versão final do manuscrito.

Agradecimentos: Agradecemos à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Campus Vitória da Conquista, pela estrutura disponibilizada para a realização deste estudo; ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia e à CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), pelo apoio; e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB), pelo financiamento e concessão de bolsas. À produtora Solange, pelo fornecimento do local e plantio comercial para realização da pesquisa; e à Dra. Generosa Souza, pela concessão das colônias de abelhas.

Referências

Addinsoft. XLSTAT. Statistical and data analysis solution. Boston,USA. <https://www.xlstat.com>. Version 19.2.2. 2019.

Albano S, Salvado E, Duarte S, Mexia A, Borges PAV. Pollination effectiveness of different strawberry floral visitors in Ribatejo, Portugal: selection of potential pollinators. Part 2. –. Adv. Hort. Sci., 2009; 23(4): 246-253.

Alves LH, Sousa LA, Barreto-Lima AF, Mucci GMF, Prezoto F. Biologia de Abertura e Fechamento do Tubo de Acesso de *Nannotrigona testaceicornis* (Lepeletier)(Apidae: Meliponini). Ent Bras. 2015; 8(1): 08-11. <https://doi.org/10.12741/ebrasilis.v8i1.458>

Ariza MT, Soria C, Medina JJ, Martínez-Ferri E. Fruit misshapen in strawberry cultivars (*Fragaria* × *ananassa*) is related to achenes functionality. Ann. Appl. Biol. 2011. 158(1):130-138. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2010.00451.x>

City Hall of Barra do Choça. (2020). Available at: <http://barradochoca.com.br/home/pagina/post>. Accessed on: 06 apr. 2022.

CGEE - Centro de Gestão e Estudos Estratégicos. Importância dos polinizadores na produção de alimentos e na segurança alimentar global. Brasília, DF: CGEE.124p. 2017.

Cortopassi-Laurino M. Visão histórica dos projetos de desenvolvimento da meliponicultura no Rio Grande do Norte- Brasil. In: Fonseca VLI, Koedam D, Hrnir M. A abelha Jandaíra: no passado, presente e no futuro. Mossoró: EduFERSA, 2017;135-140.

Costa RC, Calvete EO, Mendonça HFC, Costa LA. Phenology and leaf accumulation in vernalized and non-vernalized strawberry seedlings in neutral-days. Acta Sci. 2014;36 (1): 57-62. <https://doi.org/10.4025/actasciagron.v36i1.17285>.

De Bruijn LLM, Sommeijer MJ. Forrageamento de colônias em diferentes espécies de abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponinae) e regulação do forrageamento individual de néctar. Ins. Soc. 1977;44:35-47.

Ferreira EA, de Freitas SP, Bandeira OHS, Calaça PDSST, Paixão MVS, Vieira KIC. Plantas cultivadas com potencial para meliponicultura em agroecossistema orgânico na região serrana do Estado do Espírito Santo. Braz. J. Dev. 2020; 6(11): 88134-88144. <https://doi.org/10.34117/bjdv6n11-292>.

Garibaldi L, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen M, Bommarco R et al. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Sci.* 2013; 339: 1608-1611 . <https://doi.org/10.1126/science.1230200>

Giannini TC, Cordeiro GD, Freitas BM, Saraiva AM, Imperatriz-Fonseca VL. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *J. Econ. Entomol. Adv.*. 2015; 108: 839-848. <https://doi.org/10.1093/jee/tov093>.

Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Pal. Electron.* 4:9. 2001.

Inouye DW. Role of pollinators. *Enc. Bio.* 2013;6:140-146. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384719-5.00112-X>

Jaffé R, Nathaniel P, Airton TC, Ulysses MM, Betina B, Carlos ALC, Gislene ACZ, Breno MF, Cristiano M, Márcia FR, Giorgio CV, Vera LIF. Diagnóstico da meliponicultura no Brasil. *Mensagem Doce*, 2013;(120).

Jalil AH and Roubik DW. Handbook of Meliponiculture. The Indo-Malayan Stingless bee clade. Selangor: Akademi Kelulut Malaysia Sdn Bhd, 2017; 560.

Klatt BK, Holzschuh A, Westphal C, Clough Y, Smit I, Pawelzik E, Tscharnkte T. (2014). Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proceedings of the Royal Society B: Biol Sci.* 2014; 244-281. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.244>

Klein A, Vaissiere B, Cane J, Steffan-Dewenter I, Cunningham S, Kremen C, Tscharnkte T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the London Society B: Bio Sci.* 2007; 274:303–313. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2006.3721>

Lorenzon MCA, Morado CNA. Abelha jataí: flora visitada na mata atlântica. Rio de Janeiro: Letras e Versos, 2014. 122p.

Luis FW, Jerri TZ, Regis SSS, Valéria P. Polinização dirigida de cultivos com apicultura. Alternativas para Diversificação da Agricultura Familiar de Base Ecológica – 2022;55-56.

Magalhães TL and Venturieri GC. (2010). Aspectos econômicos da criação de abelhas indígenas sem ferrão (Apidae: Meliponini) no nordeste paraense. Série Documentos, Embrapa, 2010; 364:36.

Malagodi-Braga KS. Embrapa Meio Ambiente. (São Paulo). A polinização como fator de produção na cultura do morango. Jaguariúna: Editoração Eletrônica Gabriel Pupo Nogueira, 2018; 13(56).

Malagodi-Braga KS, Kleinert AMP. Could *Tetragonisca angustula* Latreille (Apinae, Meliponini) be effective as strawberry pollinator in greenhouses? Aust. J. Agric. Res. 2004;55:771-773. <https://doi.org/1071/AR03240>

Michener CD. The Bees of the World. 2. ed. Baltimore: The Johns Hopkins University Press .953p. 2007.

Nicodemo D, Malheiros EB, De Jong D, Couto RHN. Enhanced production of parthenocarpic cucumbers pollinated with stingless bees and Africanized honey bees in greenhouses. Semina: Ciên Agr. 2013;34(6):3625-3634. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6supl1p3625>

Palma G, Quezada-Euán JJG, Reyes-Oregel V, Meléndez V, Moo-Valle H. Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona perilampoides*, *Bombus impatiens* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). J. Appl. Ent. 2008; 132:79-85.

PBMH, PIMO. Programa Brasileiro para a modernização da Horticultura & produção integrada de morango. Normas de Classificação de Morango. São Paulo: CEAGESP, (Documentos, 33). 2009.

Roselino AC, Santos SB, Hrncir M, Bego LR. Differences between the quality of strawberries (*Fragaria x ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* and *Nannotrigona testaceicornis*. GMR. 2009;8(2):539-545. <https://doi.org/10.4238/VOL8-2KERR005>

Salomé JA, Orth AI. Polinização em Pomares de Macieiras: nova metodologia para o aumento da frutificação com o manejo correto de colmeias. Agro. Catar. 2014;27:101-110.

Santos SAB, Roselino AC, Bego LR. Pollination of Cucumber, *Cucumis sativus* L. (Cucurbitales: Cucurbitaceae), by the Stingless Bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* Moure and *Nannotrigona testaceicornis* Lepeletier (Hymenoptera: Meliponini) in Greenhouses. Neo. Entom. 2008;37:506-512. <https://doi.org/10.1590/S1519-566X2008000500002>

Scheid L, Martarello NS, Holdefer DR, Gruchowski-Woitowicz FC. Eficácia de abelhas como polinizadores do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch., cultivar San Andreas) no sul do Brasil. Lumin. 2020; 22 (02):06-17.

Silva GR, Gusmão ALJ, Ribeiro GS, Pérez-Maluf, R. Pollination service of *Nannotrigona testaceicornis* stingless bees in strawberry. Arq. Inst. Biol. 2020; 87. <https://doi.org/10.1590/1808-1657000292019>

Silva WP, Gimenes M. Padrão da atividade diária de vôo em duas colônias de *Nannotrigona testaceicornis* (Lepeletier, 1836) (Hymenoptera, Apidae) em diferentes condições no semiárido brasileiro. Sociobiologia. 2014;61 (4):547–553. <https://doi.org/10.13102/sociobiology.v61i4.547-553>

Slaa AJ, Malagodi-Braga KS and Hofstede FE. Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. Apidologie, 2006; 37: 293-315. <https://doi.org/10.1051/apido:2006022>

Quezada-Euán, J.J.G. Stingless bees of Mexico: the biology, management and conservation of an ancient heritage. New York: Springer. 2018; 294.

Taylor DR. The physiology of flowering in strawberry. Act. Hort. 2002; 567:245-251.

Thompson PA Environmental effects on pollination and receptacle development in strawberry. J. Hort. Sci. 1971;46: 1-12.

Vaissière BE, Freitas BM, Gemmill-Herren. Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. FAO, Roma. 2011.

Vieira PFDSP, Cruz DO, Gomes MFM, Oliveira Campos LA, Lima JE. Valor econômico da polinização por abelhas mamangavas no cultivo do maracujá-amarelo. Revibec: Rev. Ibero. Eco. Eco.. 2010;1543-1553.

Witter S, Radin B, Lisboa BB, Teixeira JSG, Blochtein B, Imperatriz-Fonseca VL. Desempenho de cultivares de morango submetidas a diferentes tipos de polinização em cultivo protegido. Pesq Agropec Bras. 2012; 47:58-75.

Zapata II, Villalobos CMB, Araiza MDS, Solís ES, Jaime OAM, Jones RW. Effect of pollination of strawberry by *Apis mellifera* L. and *Chrysoperla carnea* S. on quality of the fruits. Nov. Sci. 2014 7(13):85-100. <https://doi.org/10.21640/ns.v7i13.12>

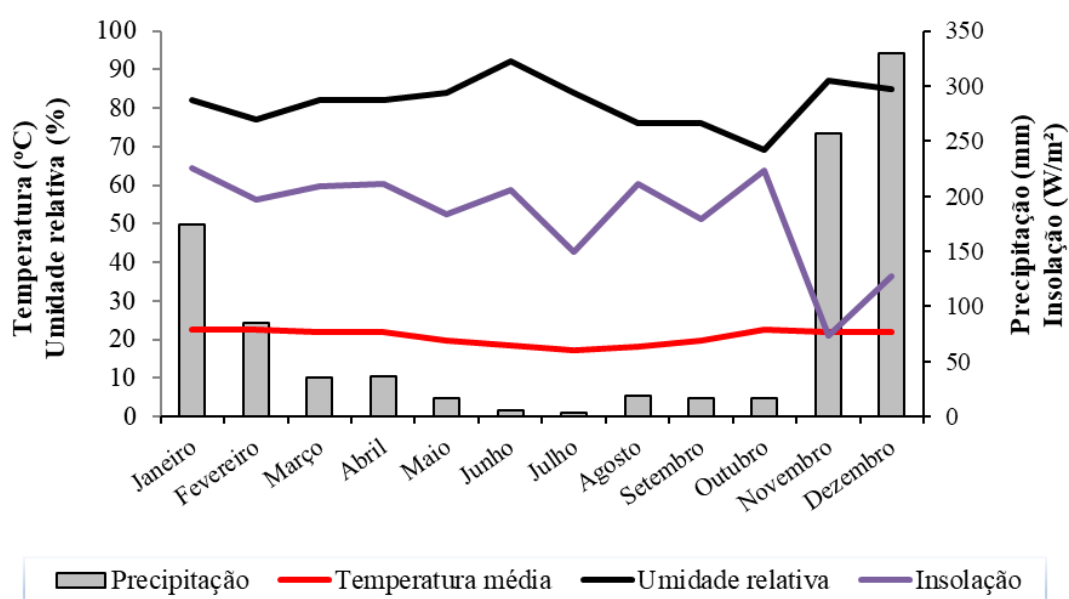


Figura 1: Dados climáticos (Temperatura (°C), Umidade Relativa (%), Precipitação (mm) e Insolação (W/m²), gerados pela estação meteorológica da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia no ano de 2022.

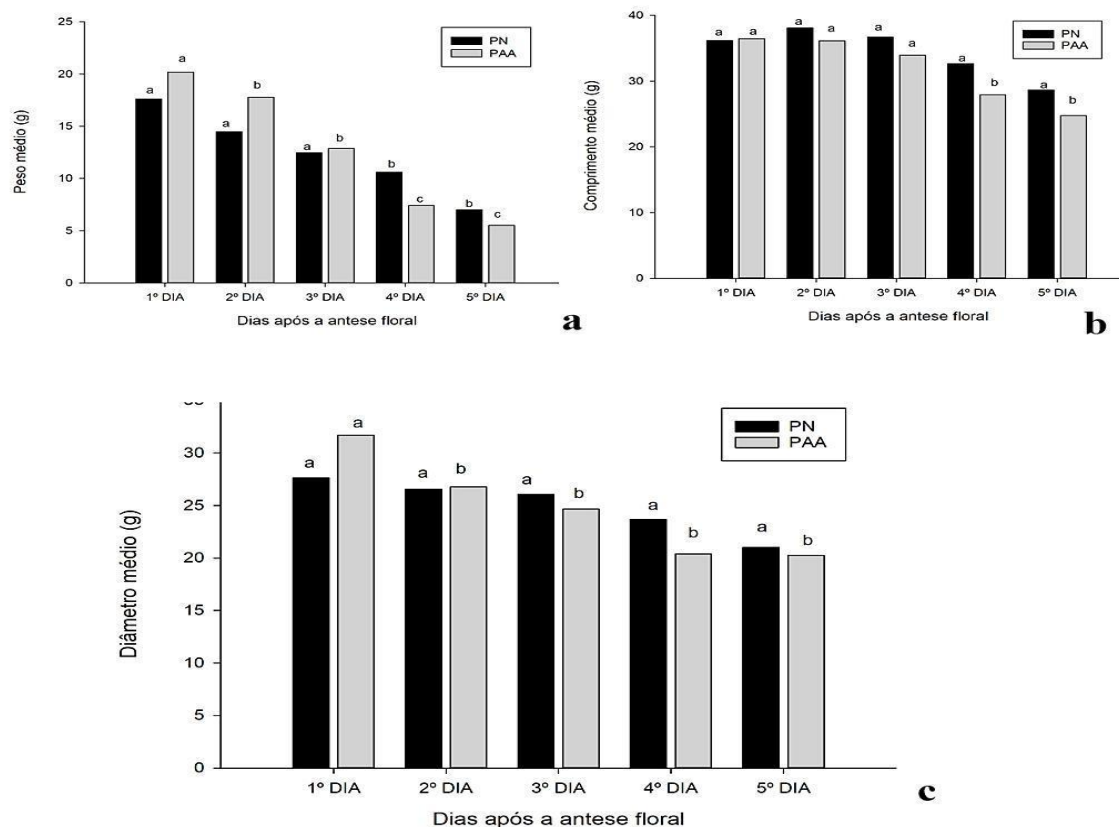


Figura 2. Análises biométricas (peso, comprimento e diâmetro) de frutos de morango cultivar ‘San Andreas’ resultantes de Polinização Natural (PN) e Polinização com Adensamento Abelha (PAA). Barra do Choça - BA.

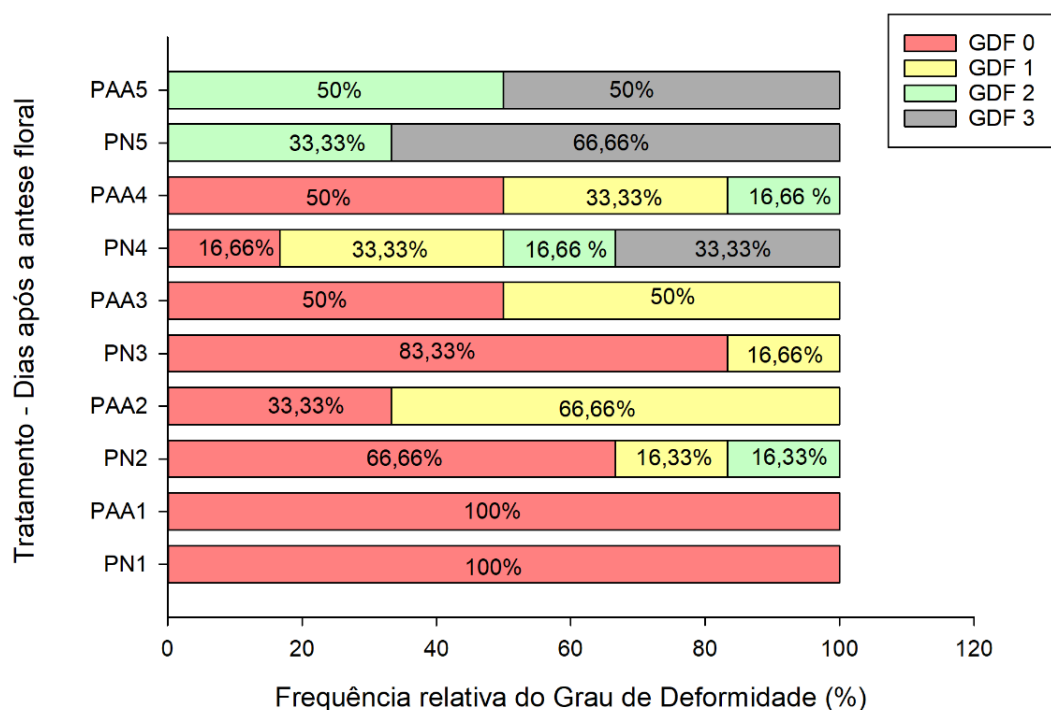


Figura 3. Frequência relativa com diferentes graus de deformidade do morango cultivar ‘San Andreas’ resultante dos cinco dias de floração após a antese sob polinização natural (PN) e polinização com adensamento apícola (PAA). Barra do Choça - BA.

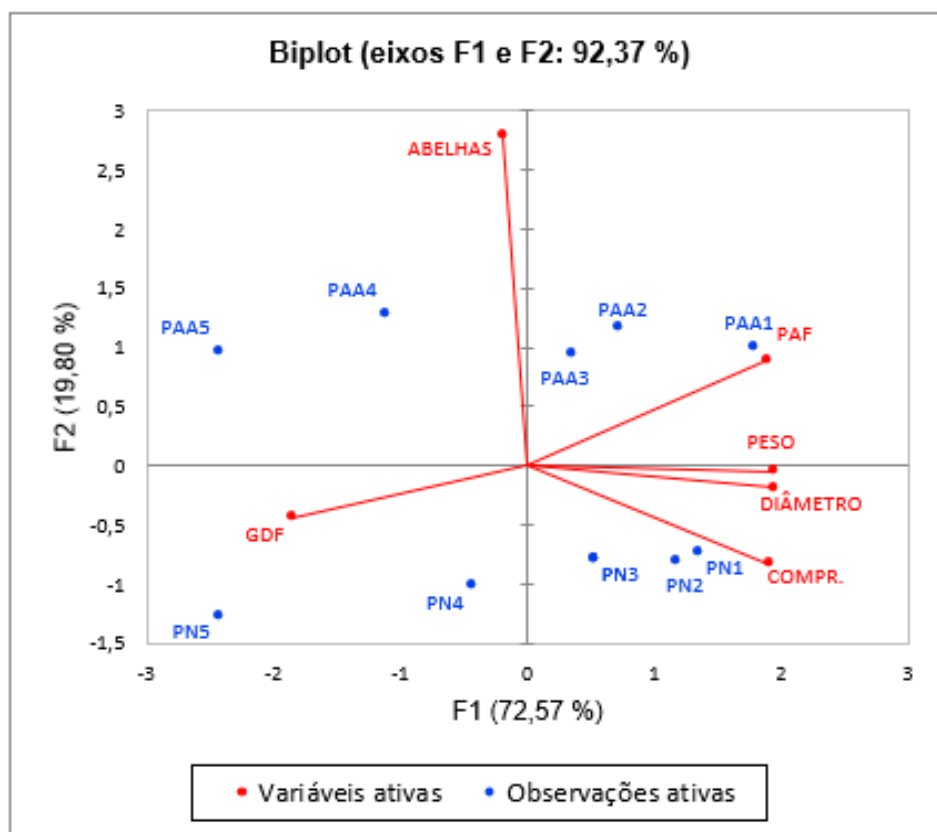


Figura 4. Diagramas de ordenação produzidos pela análise dos principais componentes (Abelhas, peso, comprimento, diâmetro, PAF e GDF) dos tratamentos com polinização natural (PN) e polinização com densidade de abelhas (PAA) em morangos e características dos frutos obtidos.

4. ARTIGO III:

Influência dos mecanismos de polinização na qualidade físico-química do morango
*(Fragaria x ananassa) cv. San Andreas**

***Situação:** Não submetido

Influência dos mecanismos de polinização na qualidade físico-química do morango
(*Fragaria x ananassa*) cv. San Andreas

PRISCILA SILVA MIRANDA^{1*}

<https://orcid.org/0000-0001-6480-7805>

ZILDA CRISTINA MALHEIROS LIMA¹

<https://orcid.org/0000-0002-8383-8292>

RAQUEL PÉREZ-MALUF¹

<https://orcid.org/0000-0001-5385-0760>

PAULO HENRIQUE MARQUES MONROE¹

<http://orcid.org/0000-0002-0000-3426>

ALDENISE ALVES MOREIRA¹

<https://orcid.org/0000-0002-2362-9624>

¹Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB, Brasil. Estrada Bem Querer, Km-04, 45033-300, Vitória da Conquista, Bahia, Brasil.

Palavras-chave: Anemofilia, Autopolinização, *Nannotrigona testaceicornis*, *Tetragonisca angustula*.

Polinização na qualidade físico-química do morango

ECOSYSTEM

*Correspondence to: Priscila Silva Miranda, Avenida Contorno Guanabara, 300, brisa, apt 609, 45026-250

e-mail: miranda.priscila48@gmail.com

Resumo

O objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros da qualidade físico-química dos frutos do morango, cultivar San Andreas, em função dos diferentes mecanismos de polinização. O estudo foi conduzido no município de Barra do Choça - BA, organizado em cinco tratamentos, com quatro repetições: T1- Polinização natural (PN), T2- Polinização natural com adensamento de abelhas (PNAA), T3- Polinização cruzada manual (PCM), T4- Polinização por anemofilia (PAN) e T5- Autopolinização (AP). Para o tratamento de polinização com adensamento de abelhas, foram implantadas quatro caixas de Iraí (*Nannotrigona testaceicornis*) e quatro caixas de Jataí (*Tetragonisca angustula*) dispostas perto do plantio de morango. Após a polinização de todos os tratamentos, as flores foram ensacadas até o desenvolvimento e maturação do receptáculo floral. Os frutos foram colhidos, quantificados e submetidos a avaliações para determinação dos parâmetros físicos e químicos. A polinização com adensamento de abelhas e a polinização natural forneceram frutos com maiores médias de peso (18,49g e 21,71g), diâmetro e comprimento (média de 36,60 mm e 29,49 mm). A polinização natural, polinização com adensamento, polinização cruzada manual e polinização por anemofilia apresentaram uma maior cromaticidade aos frutos. A polinização natural e com adensamento de abelhas proporcionaram os melhores parâmetros (Peso, °Brix, ratio e vit. C). A autopolinização apresentou as menores médias em todas variáveis analisadas.

Introdução

O morango (*Fragaria x ananassa* Duch) pode ser consumido *in natura* ou na forma dos mais variados produtos processados, tais como sucos, geleias, doces e outros. Entretanto, estudos demonstram que os consumidores preferem ingeri-lo em sua forma natural, devido as suas características sensoriais de aparência, aroma e sabor (Paparozzi et al. 2018). Aproximadamente 80% da produção mundial de morango é destinada ao comércio *in natura* (Šamec et al. 2016) e, no Brasil, não é diferente, onde 90% da comercialização também é realizada a partir do fruto *in natura* (Fagherazzi et al. 2021).

O cultivo de morango é importante do ponto de vista socioeconômico, podendo apresentar uma rentabilidade entre 50% a 100% do valor investido. A produtividade do morangueiro varia de acordo com os fatores ambientais, genéticos e de manejo, especificamente a cultivar, sistema de cultivo, época de plantio e eficiência da polinização (Passos et al. 2015). Um dos principais fatores responsáveis pelo sucesso do cultivo de morango é o manejo da polinização (Malagodi-Braga 2018).

Embora as flores do morangueiro possam ser autopolinizadas, raramente o pólen atinge espontaneamente a totalidade dos estigmas. Nesse sentido, o vento pode favorecer a polinização cruzada (Ganser et al. 2018), devido à dispersão do pólen (Roselino et al. 2009). Mesmo com a presença de cultivares comerciais hermafroditas e autoférteis, a transferência do pólen das anteras para os estigmas depende dos visitantes polinizadores (Abrol et al. 2017). Nessa perspectiva, estudos têm demonstrado que a produção do morango apresenta melhorias com a polinização cruzada (Witter et al. 2014). Klatt et al. (2014) verificaram em nove cultivares de morangueiro que as flores, após a polinização cruzada, resultaram em frutas com alto valor comercial.

A polinização cruzada ocorre principalmente pela ação de polinizadores, como as abelhas. O comportamento de diferentes espécies de abelhas em visitar as flores resulta em uma distribuição uniforme do pólen nos pistilos, estrutura feminina da flor que contém o óvulo, fertilizando-os e produzindo, assim, frutos bem formados e até mesmo mais pesados (Malagodi-Braga & Kleinert 2007; Scheid et al. 2020), além de afetar positivamente também a cor, a firmeza e a acidez dos frutos (Klatt et al. 2014), melhorando, dessa forma, a qualidade do fruto.

A qualidade dos frutos e vegetais é uma junção de propriedades que determinam o seu valor alimentício, que são o aspecto visual, características sensoriais, composição química e nutricional (Boonyakiat et al. 2016). A composição química e a cor dos frutos

são os principais parâmetros que influenciam a aceitação do consumidor. Isso porque o sabor é determinado principalmente pelo conteúdo de sólidos solúveis e a cor pelo acúmulo de compostos fenólicos e antocianinas (Hossain et al. 2016).

Nesse sentido, o objetivo deste estudo foi avaliar os parâmetros da qualidade físico-química dos frutos do morangueiro da cultivar San Andreas, em função dos diferentes mecanismos de polinização.

Material e métodos

O estudo foi realizado no município de Barra do Choça - Bahia, na região do Planalto da Conquista, que apresenta latitude 14° 52' Sul e longitude 40° 34' Oeste, altitude média de 900 m (Prefeitura Municipal de Barra do Choça 2020). O clima, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Aw, caracterizado por verões chuvosos e invernos secos (Kottek et al. 2006), com precipitação anual média em torno de 700 mm e solo predominante Latossolos Amarelos distróficos húmico (Santos 2013).

O experimento foi realizado durante os meses de janeiro e fevereiro de 2022, em uma propriedade de plantio comercial com manejo semiorgânico (uso da fertirrigação quando necessário) em campo aberto sob proteção de túneis baixos, com a cultivar San Andreas, em uma área plantada de 900 metros quadrados (30m x 30m).

Os tratamentos foram executados em canteiros, com duas linhas e onze túneis ao todo. O experimento foi organizado em cinco tratamentos e avaliado por meio do delineamento inteiramente casualizado (DIC), com quatro repetições cada: T1- Polinização natural (PN), T2- Polinização natural com adensamento de abelhas (PNAA), T3 - Polinização cruzada manual (PCM), T4 - Polinização por anemofilia (PAN) e T5 - Autopolinização (AP).

Os botões primários foram selecionados aleatoriamente, um dia antes da antese, e ensacados com tecido voil, antes e após a polinização para controle dos tratamentos.

Para o tratamento de polinização com adensamento de abelhas, quinze dias antes das avaliações, foram implantadas quatro caixas de colônias populosas de Iraí (*Nannotrigona testaceicornis*) e quatro caixas de Jataí (*Tetragonisca angustula*), dispostas próximas ao plantio de morango, a uma distância de 5 metros.

Para o tratamento de polinização cruzada manual, os grãos de pólen utilizados foram coletados de outras flores primárias de plantas da mesma cultivar, que não haviam

sido pré-selecionadas, sendo coletados no dia anterior da polinização e mantidos em placas de petri sob temperatura ambiente.

O pólen foi transferido para o estigma da flor com auxílio de um pincel sintético, por meio de movimentos em torno do receptáculo floral, de modo a permitir a distribuição uniforme do pólen. Posteriormente as flores foram ensacadas, permanecendo, assim, até o desenvolvimento e maturação do receptáculo floral.

Para o tratamento de anemofilia, as flores foram ensacadas com tecido tule, que possibilita a passagem de vento e impede a entrada de insetos ou outros vetores bióticos de polinização, sendo mantidos, assim, até a colheita.

Para a autopolinização, os botões florais foram ensacados com sacos de voil no dia anterior à sua antese e essa proteção permaneceu até a maturação do fruto.

Os frutos resultantes do efeito dos tratamentos foram colhidos e quantificados, quando apresentaram 75% da sua superfície externa na coloração vermelha a totalmente maduro. No mesmo dia, os frutos foram levados para o laboratório, a fim de determinar os seguintes parâmetros físicos: massa fresca (g), obtida em balança analítica; comprimento longitudinal (mm); diâmetro equatorial (mm), obtido com auxílio de paquímetro; e a coloração do fruto realizada por meio de um colorímetro, marca Konica Minolta, modelo CR-400, com leitura direta de reflectância das coordenadas L^* (luminosidade), a^* (tonalidade vermelha ou verde) e b^* (tonalidade amarela e azul) do sistema *Hunterlab Universal Software*, empregando-se a escala CIELAB e utilizando-se o iluminante 10°/D65.

Por meio dos valores de a^* e b^* , foram obtidos os seguintes valores: Ângulo Hue, obtido através da fórmula: $\text{Hue} = \text{tg}^{-1} b/a$. O ângulo Hue foi definido como iniciando no eixo $+a$ e é expresso em graus, sendo que 0° corresponde a $+a$ (vermelho), 90° corresponde a $+b$ (amarelo), 180° corresponde a $-a$ (verde) e 270° corresponde a $-b$ (azul). A cromaticidade define a intensidade da cor, assumindo menores valores para cores mais neutras (cinza) e maiores para cores vívidas. Esta variável foi obtida através da fórmula: $C = (a^2 + b^2)$.

O croma é o atributo que representa a cromaticidade do fruto, o qual define a intensidade da cor, sendo os mais opacos com valores próximos de zero, e com maior vivacidade aqueles próximos de 60 (Mcguire 1992).

O ΔE varia de 0 a 100 e expressa a diferença total de cor do padrão selecionado, ou seja, a distância entre as cores, sendo que valores < 1 a diferença não é perceptível a olho humano, 1-2 é perceptível por meio de observação atenta, 2 -10 pouco perceptível,

11-49 as cores são mais parecidas que opostas e 100 as cores são exatamente opostas (Pinheiro 2020).

A partir de amostras da polpa, previamente triturada de forma manual com o auxílio de um pilão até a formação de um suco, os frutos foram avaliados quanto ao pH, determinado com o uso do peagâmetro, medido diretamente na amostra. Os Sólidos solúveis totais (SST) foram determinados por refratômetro, realizado com um refratômetro de mesa, com correção automática de temperatura para 20°C, expressando-se o resultado em °Brix, acidez total titulável (ATT) determinada por titulometria de neutralização, com 0,5 a 1g de suco, e titulação com solução de NaOH 0,1N, Ratio (SST/ATT), determinada pelo quociente entre os dois constituintes e vitamina C (ác. ascórbico), obtido pelo método colorimétrico, com 2,4 dinitrofenilhidrazina, segundo a metodologia de Strohecker & Henning (1967), sendo os resultados expressos em mg 100mL de suco⁻¹.

Os dados obtidos foram submetidos aos testes de normalidade e homogeneidade, procedendo-se à análise de variância, e, posteriormente, as médias dos tratamentos foram comparadas pelo teste Scott Knott, a 5% de probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SISVAR.

Resultados

A quantidade de frutos formados nos diferentes tratamentos avaliados não se diferiu ($\chi^2 = 4,71^{ns}$), entretanto, houve diferenças na qualidade visual do fruto em sua formação completa (Figura 1). Os frutos de polinização natural e com adensamento foram considerados sem nenhuma deformação (0%). Enquanto os frutos obtidos dos tratamentos de polinização cruzada manual e por anemofilia apresentaram 8,33% de frutos, apresentando leve deformação, e os frutos que foram autopolinizados tiveram 100% de frutos malformados.

A polinização natural e polinização com adensamento de abelhas proporcionaram frutos com maiores médias de peso (18,49 g e 21,71 g, respectivamente), enquanto que a autopolinização apresentou média inferior aos demais (1,91 g) (Tabela 1). Para as variáveis comprimento e diâmetro, os tratamentos com diferentes mecanismos de polinização não diferiram entre si (média de 36,60 mm e 29,49 mm, respectivamente), com exceção da autopolinização, que obteve valores inferiores.

A coloração dos frutos indicou que o croma (C*), que representa a pureza da cor, foi de 40,27 a 48,06 nos tratamentos com polinização cruzada (PN, PNA, PCM e PAN),

pois estes se apresentam mais escuros (avermelhado), quando comparado ao tratamento de autopolinização, que foi o menos cromático, com 11,06. Verificou-se aumento da diferença de cor (ΔE) e a tonalidade da cor no ângulo Hue° (°H) em autopolinização, já os demais tratamentos não diferiram entre si.

Em relação às características químicas da polpa do fruto, o pH não se diferiu entre os tratamentos (Figura 2), enquanto o °Brix (Sólidos Solúveis Totais - SST) apresentou o maior valor de Sólidos Solúveis polinização com adensamento, seguido pelo tratamento de polinização natural. Por outro lado, a autopolinização apresentou o menor teor de °Brix e apresentou uma elevada acidez total titulável (ATT); já os demais tratamentos não se diferiram quanto à acidez, mas os menores valores foram obtidos nos frutos submetidos à polinização natural e com adensamento de abelhas.

A relação de SST/ATT (ratio) foi maior no tratamento com polinização com adensamento, em contrapartida, a menor relação ocorreu para o tratamento sob autopolinização.

As maiores médias de vitamina C foram encontradas nos frutos oriundos da polinização com abelhas, apresentando valores expressivos, enquanto os menores valores ocorreram na autopolinização.

Discussão

As maiores médias de peso e uma melhor qualidade foram observadas em frutos que obtiveram polinização com adensamento de abelhas e polinização natural. O mesmo resultado foi constatado em outros estudos, como, por exemplo, o de Witter et al. (2012), que obtiveram frutos com massa superior ao tratamento de autopolinização, a partir da polinização efetuada pela abelha *Plebeia nigriceps* e pela polinização natural na cultivar Aromas e Diamante. Estudos demonstram que morangos polinizados por abelhas são mais pesados (Malagodi-Braga & Kleinert 2004; Antunes et al. 2007), provavelmente devido ao fato de uma maior proporção de óvulos das flores polinizados pelas abelhas ser fecundada, resultando em frutos maiores e bem formados. Roselino et al. (2009) também constataram efeito da visita das flores por abelhas na massa de matéria fresca dos frutos. Flores visitadas, aumento da massa fresca e, por conseguinte, sugere-se que também o desenvolvimento do receptáculo foi maior.

Para diâmetro e comprimento de frutos, foi verificado que as flores que tiveram acesso aos agentes externos de polinização, sejam os visitantes florais ou o vento, tiveram

frutos com tamanho (diâmetro e comprimento) superiores, em relação aos frutos oriundos de autopolinização espontânea. O morangueiro é classificado como um cultivo que apresenta graus de dependência moderada de polinização cruzada (Giannini et al. 2015). Esse grau de dependência foi definido como um grau médio das diferentes cultivares, pois há aquelas que são mais dependentes e aquelas que são menos dependentes da polinização cruzada.

O diâmetro dos frutos de morango é um aspecto importante na classificação comercial, de acordo com o Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura (PBMH) & Produção Integrada de Morango (PIMO) (2009). As duas principais classes são 15 e 35, sendo a classe 15 a que agrega frutas de 15 a 35 mm; e a classe 35, a que possui frutas de alto padrão com diâmetro acima de 35 mm. Diante disso, os resultados obtidos nesta pesquisa mostram que apenas os frutos resultantes da autopolinização não estariam agrupados na classe 15, ou seja, inaptas à comercialização *in natura*. Os frutos colhidos como resultado dos demais tratamentos, encontravam-se dentro dos parâmetros previstos pela Norma de Classificação para comercialização.

No presente estudo, os tratamentos com exceção de autopolinização apresentaram coloração mais vivas, constatando que a polinização cruzada proporciona uma maior cromaticidade aos frutos. Possivelmente, devido ao fato destes tratamentos terem tido uma maior quantidade de óvulos fertilizados, o que pode ter garantido um amadurecimento uniforme e completo dos frutos.

A autopolinização foi o que apresentou valor de ΔE 70,84, diferenciando-se dos demais tratamentos, os quais obtiveram valores inferiores. Diante disso, é possível sustentar que os frutos oriundos da autopolinização espontânea apresentam variação de cor e podem interferir no seu valor de mercado.

O ângulo hue (h°) é representado por um ângulo de 0° a 360° graus e por meio deste é caracterizada a coloração vermelha do morango, sendo um importante indicativo para a tonalidade da cor vermelha. Resultados de menor valor indicam que a cor está mais próxima do vermelho, enquanto que resultados de maior valor indicam que a cor está mais próxima do verde (Ferreira & Aricigo 2017). É notável que os frutos, em todos os tratamentos, estão dentro do ângulo 0° e 90° , ou seja, dentro do ângulo que caracteriza a tonalidade vermelha, que é característica do fruto maduro e vistoso, principalmente os tratamentos de mecanismos de polinização cruzada, apresentando valor próximo a 30° , que demonstram ser mais vermelhos. A cor mais intensa, por exemplo, é uma característica importante, pois está relacionada a um melhor valor nutricional da fruta. E,

de acordo com Klat et al. (2014), os morangos polinizados pelas abelhas possuem uma coloração vermelha mais intensa, são mais firmes e duram mais tempo nas prateleiras.

Nas análises químicas, a determinação do pH é um parâmetro importante para a destinação final dos frutos, que pode variar entre 2,44 (Cecatto et al. 2013) e 3,73 (Souza et al. 2014), resultados estes que foram obtidos no presente estudo. Entretanto, morangos com pH mais ácido ($< 3,0$) são indicados para a indústria, já que não são bem aceitos sensorialmente para consumo *in natura* (Oliveira et al. 2015). Tal característica foi constatada apenas na autopolinização, indicando que o fruto pode ser considerado inadequado para o consumo *in natura*.

Já o teor de sólidos solúveis total ($^{\circ}$ Brix) pode ser um indicador do grau de maturidade do morango, podendo influenciar no sabor dos frutos (Yan et al. 2020). De acordo com o Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura – PBMH, uma fruta imatura é classificada como um defeito grave, sendo definido pelo conteúdo mínimo de sólidos solúveis, em graus $^{\circ}$ Brix, que cada fruta deve ter. Segundo Kader (1992), o morango *in natura* possui teor de sólidos solúveis totais entre 4,1 e 11,9 $^{\circ}$ Brix, dependendo da cultivar e dos fatores pré-colheita. Esses teores tendem a aumentar na medida em que os frutos amadurecem e variam conforme a cultivar e o clima. Elevados teores de sólidos solúveis são desejáveis, tanto para o consumo *in natura*, quanto para o processamento. Nossos resultados indicam que o manejo com adensamento de abelhas pode melhorar os teores de $^{\circ}$ Brix, em lavouras com falha na polinização por escassez de polinizadores, apresentando frutos mais saborosos e com maior teor de açúcar, devido à fecundação de uma quantidade expressiva dos óvulos presentes nas flores.

A acidez titulável total (ATT) indica a quantidade de ácidos orgânicos presentes nos frutos que, em balanço com os teores de açúcares, representam um importante atributo de qualidade. Muitos desses ácidos são voláteis, contribuindo, dessa forma, para o aroma característico das frutas (Kluge et al. 2002). Para Camargo et al. (2011), comercialmente o conteúdo mínimo de sólidos solúveis é de 7,0% e o máximo de acidez titulável é 0,8%, constituintes de doçura e acidez.

A relação SST/AT propicia uma boa avaliação do sabor dos frutos, sendo mais representativa do que a medição isolada de açúcares e de acidez. Nessa perspectiva, os frutos com manejo de polinização natural e com adensamento de abelhas são propícios para o consumo *in natura*, pois, de acordo com Lima et al. (2002), frutos destinados para este fim tecnológico devem possuir valores de SST/ATT (Ratio) superiores a 8%, pois o

mercado do fruto vendido *in natura* prefere aqueles com maior quantidade de SST e menor ATT (Figueiredo et al. 2015).

Um dos aspectos nutricionais mais relevantes do fruto é o seu elevado teor de vitamina C e os resultados verificados para este teor na presente pesquisa apresentam valores inferiores aos observados na literatura (5 a 24 mg 100g⁻¹). Na literatura, dados relativos de ácido ascórbico variam de 39 a 89 mg 100g⁻¹ de polpa, sendo o valor médio, para morangos, de 60 mg 100g⁻¹ de fruta (Cordeiro et al. 2019).

Vários autores afirmam que o morango apresenta elevado teor de ácido ascórbico (Antunes et al. 2014; Maksimović et al. 2015; Hossain et al. 2016; Hernández et al. 2017), mas, dependendo da cultivar, época do ano, localização e forma do cultivo, esse teor pode se diferir (Souza et al. 2020). Divergências no conteúdo de vitamina C (26,46 mg 100 g⁻¹ a 37,77 mg 100 g⁻¹) foram descritas por Hossain et al. (2016) entre diferentes genótipos de morango. Enquanto Souza et al. (2014), cultivando morangos em uma área subtropical em Minas Gerais, observaram um teor de ácido ascórbico expressivo (90,13 mg 100 g⁻¹). Tal característica pode estar relacionada com a baixa temperatura média observada no estudo (21°C) (Souza et al. 2014). Os fatores climáticos dificultam a oxidação da vitamina C, uma vez que ela é muito sensível a temperaturas altas (Antunes et al. 2014), esta situação pode ter acontecido no estudo em questão, que foi avaliado no verão, com temperaturas de 28° C, possibilitando a oxidação da mesma.

Conclusões

O adensamento de abelhas melhorou o serviço de polinização, resultando em melhorias na produtividade (peso fresco) e em diversos aspectos da qualidade, como no °Brix, ratio e vit. C, o que resulta em uma melhor aceitação dos frutos no mercado *in natura*.

Contribuições dos autores

PSM e RPM conceberam a ideia desenhada no estudo. PSM, ZCML e RPM contribuíram na preparação, quantificação das amostras e condução dos experimentos de campo. PHMM contribuiu na estatística e na confecção das figuras. AAM e RPM revisaram o manuscrito. Todos os autores redigiram o artigo e aprovaram a versão final do manuscrito.

Referências

- ABROL DP, GORKA AK, ANSARI MJ, AL-GHAMDI A & ALKAHTANI S. 2017. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. *Saudi Journal of Biological Sciences* 24:1-7.
- ANTUNES OT, CALVETE EO, ROCHA HC, NIENOW AA, CECCHETTI D, RIVA E & MARAN RE. 2007. Produção de cultivares de morangueiro polinizadas pela abelha jataí em ambiente protegido. *Horticultura Brasileira* 25: (1) 94-99.
- ANTUNES MC, CUQUEL FL, ZAWADNEAK MAC, MOGOR ÁF & RESENDE, JTV. 2014. Postharvest quality of strawberry produced during two consecutive seasons. *Horticultura Brasileira* 32: (2) 168–173.
- BOONYAKIAT, D.; CHUAMUANGPHAN, C.; MANIWARA, P.; SEEHANAM, P. Comparison of physico-chemical quality of different strawberry cultivars at three maturity stages. *International Food Research Journal*, v.23, n.6, p.2405–2412, 2016.
- CAMARGO LKP; RESENDE JTV; TOMINAGA TT; KURCHAIT SM; CAMARGO CK; FIGUEIREDO AST. 2011. Postharvest quality of strawberry fruits produced in organic and conventional systems. *Horticultura Brasileira* 29: 577-583.
- CECATTO AP, CALVETE EO, NIENOW AA, COSTA RC, MENDONÇA HFC & PAZZINATO AC. 2013. Culture systems in the production and quality of strawberry cultivars. *Acta Scientiarum Agronomy* 35: (4) 471–478.
- CORDEIRO ECN, RESENDE JTV, CÓRDOVA KRV, NASCIMENTO DA, SAGGIN JÚNIOR OJ, ZEIST AR & FAVARO R. 2019. Arbuscular mycorrhizal fungi action on the quality of strawberry fruits. *Horticultura brasileira* 37: (4) 437-444.
- FAGHERAZZI AF, ZANIN DS, SANTOS MFS, LIMA JM, WELTER PD, RICHTER AF, NERBASS FR, KRETZSCHMAR AA, RUFATO L & BARUZZI G. 2021. Initial crown diameter influences on the fruit yield and quality of strawberry pircinque. *Agronomy* 11: (1) 184.

FERREIRA MD & APRICIGO PC. 2017. Colorimetria: Princípios e aplicações na agricultura. In: Instrumentação em frutas e hortaliças. 1. ed. São Carlos: Embrapa Instrumentação 209–220.

FIGUEIREDO FRA, HAFLE OM, RODRIGUES MHBS, PEREIRA JÚNIOR EB & DELFINO FI. 2015. Produtividade e qualidade dos frutos do maracujazeiro-amarelo sob diferentes formas de condução das plantas. *Agropecuária Científica no Semiárido* 11: (4)23-32.

GANSER D, MAYR B, ALBRECHT M & KNOP E. 2018. Wildflower strips enhance pollination in adjacent strawberry crops at the small scale. *Ecology and Evolution* 8: (23) 11775–11784.

GIANNINI TC, CORDEIRO GD, FREITAS BM, SARAIVA AM & IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. 2015. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *Journal of economic entomology advance* 108: 839-848.

HERNÁNDEZ JMV, CARDOSO GM, EAPINOZA JAM, HINOJOSA CV, SÁNCHEZ FDL, CABRERA FR, TEJACAL IA & FLORES, L.J.P. 2017. Antioxidant Capacity In vitro and In vivo of Various Ecotypes of Mexican Plum (*APondias purpurea* L.). *Journal of Food Science* 82:(11) 2576–2582.

HOSSAIN A, BEGUM P, ZANNAT MS, RAHMAN MH, AHSAN M, ISLAM SN. 2016. Nutrient composition of strawberry genotypes cultivated in a horticulture farm. *Food Chemistry* 199: (1) 648–652.

KADER AA. 1992. Postharvest technology of horticultural crops. 2. ed. Oakland Ca: University of Califórnia.

KLATT BK, HOLZSCHUH A, WESTPHAL C, CLOUGH Y, SMIT I, PAWELZIK E & TSCHARNTKE, T. 2014. Bee pollination improves crop quality, shelf life and comercial value. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences* 281.

KLUGE RA et al. 2002. Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado. Livraria e Editora Rural. 2 ed. Campinas, 214p.

KOTTEK M, GRIESER J, BECK C, RUDOLF B & RUBEL, F. 2006. World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorologische Zeitschrift 15: (3) 259-263.

LIMA EDPA, LIMA CAA, ALDRIGUE M.L & GONDIM PS. 2002. Caracterização física e química dos frutos da umbu-cajazeira (*APondias* APp.) em cinco estádios de maturação, da polpa e néctar. Revista Brasileira de Fruticultura 24: (2) 338-343.

MAKSIMOVIĆ JD, POLEDICA M, MUTAVDŽIĆ D, MOJOVIĆ M, RADIVOJEVIĆ D & MILIVOJEVIĆ J. 2015. Variation in Nutritional Quality and Chemical Composition of Fresh Strawberry Fruit: Combined Effect of Cultivar and Storage. Plant Foods for Human Nutrition 70: (1) 77–84.

MALAGODI-BRAGA KS & KLEINERT AMP. 2004. Could *Tetragonisca angustula* Latreille (Apinae, Meliponini) be effective as strawberry pollinator in greenhouses? Australian Journal of Agricultural Research 55: 771-773.

MALAGODI-BRAGA KS & KLEINERT AMP. 2007. Como o comportamento das abelhas na flor do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne) influencia a formação dos frutos? Biosci. J. 23: (1) 76-81.

MALAGODI-BRAGA KS. 2018. A polinização como fator de produção na cultura do morango. Comunicado Técnico 56. Jaguariúna, AP: Embrapa Meio Ambiente.

MCGUIRRE, R.G. 1992. Reporting of objective color measurements. HortScience, 17:(12) 1254-1255

OLIVEIRA A, GOMES MH, ALEXANDRE EMC, POÇAS F, ALMEIDA DPF & PINTADO M. 2015. Phytochemicals preservation in strawberry as affected by pH modulation. Food Chemistry 170:(1)74–83.

PASSOS FA, TRANI PE & CARVALHO CRL. 2015. Desempenho agronômico de genótipos de morangueiro. Horticultura Brasileira 33: (2)261-271.

PAPAROZZI ET, MEYER GE, SCHLEGEL V, BLANKENSHIP EE, ADAMS AS, CONLEY ME, LOSEKE B & READ PE. 2018. Strawberry cultivars vary in productivity, sugars and phytonutrient content when grown in a greenhouse during the winter. Scientia Horticulturae 227:(1)1–9.

PBMH & PIMO - Programa Brasileiro para a Modernização da Horticultura & Produção Integrada de Morango. 2009. Normas de Classificação de Morango. São Paulo: CEAGEAP, (Documentos, 33).

PINHEIRO PO, ALMAHAIRI A, BENMALEK R, GOLEMO F & COURVILLE, AC. 2020. Aprendizagem não supervisionada de representações visuais densas. Avanços em Sistemas de Processamento de Informação Neural 33: 4489-4500.

PREFEITURA MUNICIPAL DE PLANALTO. 2020. Disponível em <<http://barradochoca.com.br/home/pagina/post> > Acesso em: 11 de outubro de 2023.

ROSELINO AC, SANTOS SB, HRNCIR M & BEGO LR. 2009. Differences between the quality of strawberries (*Fragaria x ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* and *Nannotrigona testaceicornis*. Genetics and Molecular Research 8:(2) 539-545.

ŠAMEC D, MARETIĆ M, LUGARIĆ I, MEŠIĆ A, SALOPEK-SONDI B & DURALIJA B. 2016. Assessment of the differences in the physical, chemical and phytochemical properties of four strawberry cultivars using principal component analysis. Food Chemistry 194: (1)828–834.

SANTOS, H. G. 2013. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. Revisada e Ampliada, 3 ed. Embrapa. Brasília, Brasil. 353p.

SCHEID L, MARTARELLO NS, HOLDEFER DR & GRUCHOWSKI-WOITOWICZ FC. 2020. Eficácia de abelhas como polinizadores do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch., cultivar San Andreas) no sul do Brasil. Luminária 22: (02) 06-17.

SOUZA ICC, CARVALHO ACB, SILVA-NETO JMD, FERNANDES JPC, ROCHA-JUNIOR JD, ARAÚJO FMMC & MELO RLF. 2020. Caracterização físico-química dos frutos tropicais do Nordeste Brasileiro. Research, Society and Development 9: (6) e125963562.

SOUZA VR, PEREIRA PAP, SILVA TLT, LIMA LCO, PIO R. & QUEIROZ F. 2014. Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. Food Chemistry 156: (1) 362–368.

STROHECKER RL & HENNING HM. 1967. Análisis de vitaminas: métodos comprobados. Madrid: Paz Montalvo, 428 p.

WITTER S, NUNES-SILVA P & BLOCHTEIN B. 2014. Abelhas na Polinização da Canola: benefícios ambientais e econômicos, Porto Alegre, 71 p

WITTER S, RADIN B, LISBOA BB, TEIXEIRA JSG, BLOCHTEIN B & IMPERATRIZ-FONSECA VL. 2012. Desempenho de cultivares de morango submetidas a diferentes tipos de polinização em cultivo protegido. Pesquisa Agropecuária Brasileira 47:(1)58-75.

YAN Y, DUAN S, ZHANG H, LIU Y, LI C, HU B, LIU A, WU D, HE J & WU W. 2020. Preparation and characterization of Konjac glucomannan and pullulan composite films for strawberry preservation. Carbohydr. Polym 243: 116446.

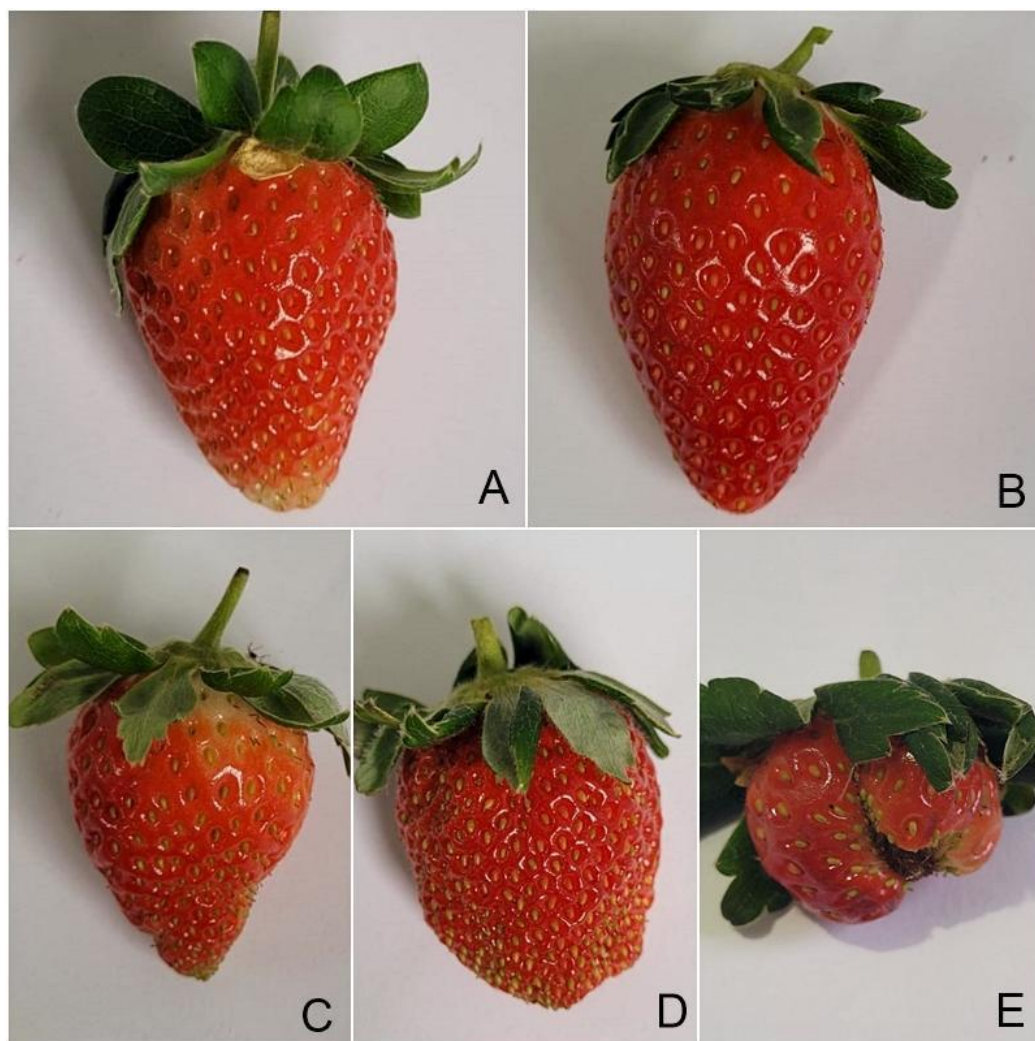


Figura 1: Frutos do morango cultivar ‘San andreas’, obtidos por meio de diferentes mecanismos de polinização: Polinização Natural (PN) (A), Polinização Natural com Adensamento de Abelhas (PNAA) (B), Polinização cruzada manual (PCM) (C), Polinização por anemofilia (PAN) (D) e Autopolinização (AP) (E). Barra do Choça - BA.

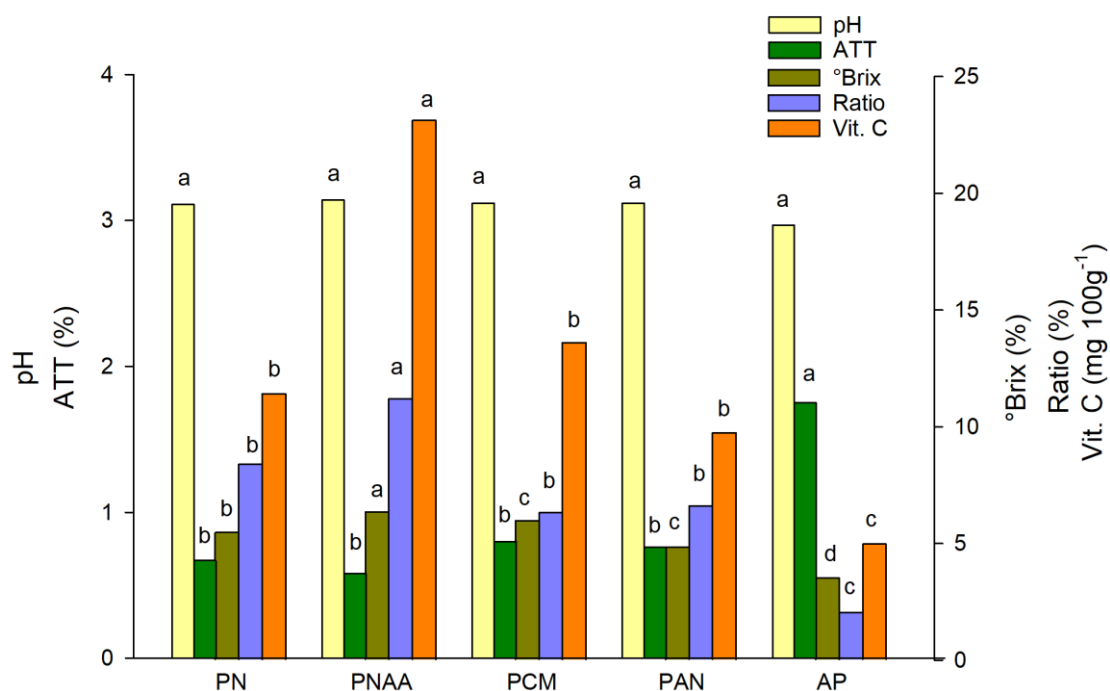


Figura 2. Análises químicas (pH, ATT, °Brix, Ratio, Vit.C) de frutos do morangueiro cv. ‘San andreas’, resultantes de Polinização Natural (PN), Polinização com Adensamento de Abelhas (PAA), Polinização cruzada manual (PCM), Polinização por anemofilia (PAN) e Autopolinização (AP). Barra do Choça - BA.

*Os parâmetros estão sendo comparados entre os tratamentos e que letras diferentes são utilizadas para as médias com diferença significativa entre os tratamentos.

Tabela 1: Análises físicas (peso, comprimento, diâmetro e cor: croma (C*), diferença de cor (ΔE) e ângulo Hue° (°H) de frutos do morangueiro cv. ‘San andreas’, resultantes de Polinização Natural (PN), Polinização Natural com Adensamento de Abelhas (PNAA), Polinização cruzada manual (PCM), Polinização por anemofilia (PAN) e Autopolinização (AP) no município de Barra do Choça - BA.

Tratamentos	Variáveis					
	Peso (g)	Comprimento (mm)	Diâmetro (mm)	C*	ΔE	° H
PN	18,49 a	35,53 a	24,90 a	41,41 a	34,49 a	37,86 a
PNAA	21,71 a	33,89 a	33,34 a	48,06 a	55,40 a	43,32 a
PCM	14,71 b	36,59 a	28,43 a	43,85 a	38,90 a	42,78 a
PAN	12,80 b	40,37 a	31,30 a	40,27 a	41,48 a	40, 77 a
AP	1,91 c	12, 19 b	11,09 b	32,39 b	70,84 b	60,79 b
CV %	30,16	18,08	28,16	12,74	16,02	3,44

Médias seguidas de mesma letra nas colunas não diferem entre si segundo o teste de Scott Knott a 5%.

6. ARTIGO IV:

**AVALIAÇÃO DA BIOMETRIA E GERMINAÇÃO DE AQUÊNIOS DE
MORANGO, CULTIVAR ‘SAN ANDREAS’, COM E SEM ADENSAMENTO DE
ABELHAS**

***Situação:** Não submetido

AVALIAÇÃO DA BIOMETRIA E GERMINAÇÃO DE AQUÊNIOS DE MORANGO, CULTIVAR ‘SAN ANDREAS’, COM E SEM ADENSAMENTO DE ABELHAS

PRISCILA SILVA MIRANDA ^(1,2)

<https://orcid.org/0000-0001-6480-7805>

ZILDA CRISTINA MALHEIROS LIMA ^(1,3)

<https://orcid.org/0000-0002-8383-8292>

IURI DOS SANTOS ^(1,4)

<https://orcid.org/0009-0001-5956-4404>

RAQUEL PÉREZ-MALUF ^(1,5)

<https://orcid.org/0000-0001-5385-0760>

DÉBORA LEONARDO DOS SANTOS ^(1,6)

<https://orcid.org/0000-0002-1655-5794>

ALDENISE ALVES MOREIRA ^(1,7)

<https://orcid.org/0000-0002-2362-9624>

⁽¹⁾Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia/UESB, 45033-300, Vitória da Conquista, BA, Brasil.

⁽²⁾miranda.priscila48@gmail.com, ⁽³⁾zildacristina52@hotmail.com, ⁽⁴⁾mr.iuri@outlook.com, ⁽⁵⁾raquelmaluf@uesb.edu.br, ⁽⁶⁾debora.leonardo@uesb.edu.br, ⁽⁷⁾aldenise.moreira@gmail.com

Resumo

O objetivo do presente estudo foi avaliar a biometria e a germinação de aquênios de morango, cultivar ‘San Andreas’, submetidos à polinização natural e adensamento de abelhas, utilizando como tratamentos pré-germinativo o armazenamento e a escarificação química. O estudo foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* Vitória da Conquista - BA. Os frutos dos tratamentos com e sem adensamento de

abelhas, resultantes da polinização em diferentes idades florais, foram colhidos e seus aquênios foram retirados, contabilizados e submetidos ao teste de fecundação. Posteriormente, foram avaliadas quanto à biometria (comprimento, largura e espessura) e armazenados por 60 dias a 4°C. Após o período de armazenamento, foi realizada a escarificação química com ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄ 98%). Para a avaliação da germinação, foram utilizados aquênios resultantes de dois tratamentos de polinização, ambos aplicados em diferentes idades florais, ou seja, do 1º ao 5º dia de vida da flor: 1- Polinização Natural, controlada ou com restrição na visitação, (PN1, PN2, PN3, PN4, PN5); e 2- Polinização com adensamento de abelhas (PAA1, PAA2, PAA3, PAA4, PAA5). A germinação foi mantida sob condições de laboratório em temperatura ambiente, variando de 20° a 26,6°C, com luz constante e acompanhado diariamente por 60 dias. Os parâmetros avaliados foram: porcentagem de germinação (%), índice de velocidade de germinação de plântulas (IVG), frequência relativa (FR), tempo médio de germinação (TMG), médias de plântulas normais, anormais, aquênios duros e mortos. A porcentagem de aquênios obtidos por pseudofruto com o adensamento de abelhas foi maior, quando a polinização ocorreu no primeiro e segundo dia após a antese floral com o adensamento de abelhas na área. O adensamento de abelhas proporcionou uma maior porcentagem de aquênios germinados nas flores polinizadas no primeiro dia após a antese floral, assim como um maior número de plântulas normais em todos os dias avaliados, baixo número de plântulas com anomalias e maior índice de plântulas maiores.

Palavras-chave: Escarificação química. Polinização. *Nannotrigona testaceicornes*. *Tetragonisca angustula*,

Introdução

O cultivo do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duch) possui grande importância no território brasileiro, tanto na geração de trabalho como na oferta de renda no campo. Por ser comercializado principalmente *in natura*, os parâmetros de qualidade do mercado estão cada dia mais exigentes. Nesse sentido, a polinização por abelhas é um fator primordial na produção do morangueiro, interferindo na obtenção de morangos de boa qualidade e produtividade (Malagodi-Braga, 2018).

As flores do morangueiro apresentam características que favorecem a polinização cruzada (Roselino et al., 2009). Mesmo sendo os cultivares comerciais atuais hermafroditas e autoférteis, a transferência do pólen das anteras para os estigmas depende

dos visitantes florais (Abrol et al., 2017). Nessa perspectiva, estudos têm demonstrado que a produção do morango apresenta alta correlação com a polinização promovida por abelhas, já que elas também contribuem para aumentar a taxa de autopolinização (Witter et al., 2014). A polinização por insetos leva à fertilização elevada das flores de morango e, portanto, aumenta o número de aquênios fertilizados (Klatt et al., 2014). Os aquênios individuais estão embutidos em um receptáculo agregado, e a produção de auxina por múltiplos aquênios causa o aumento do tecido circundante do receptáculo para formar o pseudocarpo, ou seja, a “fruta” do morango (Ariza et al., 2015; Petran e Hoover, 2018; Hancock, 2020). As abelhas têm importância na transferência de pólen e na produção de morangos bem formados, sendo necessária a visita abundante e frequente desses insetos nas flores para que as flores sejam completamente polinizadas (Malagodi-Braga, 2018).

Comercialmente, a cultura do morango é propagada por meio da reprodução assexuada, através de estolões das plantas utilizadas como matriz pelos viveiristas. Entretanto, quando se busca o melhoramento genético da espécie, necessita-se de plantas originadas da germinação dos aquênios, considerados como os frutos verdadeiros do morangueiro. Cada aquênio, no seu interior, contém uma semente que depois de germinada origina uma nova plântula. A reprodução sexuada por meio de semente favorece a recombinação de genes, aumentando a variabilidade genética das populações, permitindo, assim, a probabilidade de aparecerem indivíduos geneticamente superiores (Antunes, 2011). No entanto, estes apresentam dormência tegumentar ocasionada pela impermeabilidade da água na testa e no pericarpo, o que impede ou reduz a germinação do embrião (Galvão et al., 2014).

Uma das metodologias que vem sendo utilizada e que se tem mostrado muito eficiente na quebra da dormência e na germinação dos aquênios do morango é o uso do ácido sulfúrico para melhorar o desempenho germinativo das sementes (Ito et al., 2011; Trindade et al., 2019). Em vista disso, o objetivo do presente estudo foi avaliar a biometria e germinação de aquênios de morango, cultivar ‘San Andreas’, com polinização natural e com adensamento de abelhas, utilizando como tratamentos pré-germinativos o armazenamento e escarificação química, com adição do ácido sulfúrico.

Material e Métodos

O estudo foi conduzido no laboratório de Biodiversidade do Semiárido (LABISA), situado na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), *campus* Vitória da Conquista - BA.

Os aquênios foram obtidos de frutos de morango da cultivar ‘San Andreas’, produzidos no sítio Muritiba, localizado na cidade de Barra do Choça – Bahia, na região Planalto da Conquista, com latitude 14° 52’ Sul e longitude 40° 34’ Oeste, altitude média de 900 m, cultivados em plantio comercial com manejo semiorgânico (fertirrigação quando necessário) em campo aberto com proteção de túneis baixos. Foram realizados dois experimentos ao longo das avaliações, sendo o primeiro realizado sob condições naturais de polinização e o segundo com adensamento das abelhas Iraí (*Nannotrigona testaceicornes*) e Jataí (*Tetragonisca angustula*), com exposição das flores para polinização em diferentes dias após a antese floral.

Os frutos resultantes dos tratamentos utilizados foram colhidos e quantificados, quando apresentavam 75% da sua superfície externa na coloração vermelha a totalmente maduros. Após a colheita, os morangos foram levados ao Laboratório de Biodiversidade do Semiárido (LABISA/UESB) para a retirada manual dos aquênios, com auxílio de uma pinça.

Após a retirada, os aquênios foram contabilizados e submetidos ao teste de fecundação, pela avaliação da sua capacidade de flutuação, imergindo os aquênios em água (Chandler et al., 2012). O resultado do teste foi apresentado em porcentagem de aquênios férteis. Neste trabalho, utilizaram-se apenas as sementes viáveis que ficaram depositadas ao fundo, as quais foram avaliadas quanto à biometria (comprimento, largura e espessura) e, posteriormente, foram armazenadas em vidros fechados e refrigeradas por 60 dias a 4°C, seguindo a recomendação de Brasil (2009).

Após o período de armazenamento, foi realizada a escarificação química, imergindo os aquênios em ácido sulfúrico concentrado (H₂SO₄ (98%) por 5 minutos e depois lavados em água corrente. Em seguida, os aquênios foram esterilizados em hipoclorito (2%) por 3 min e lavados em água destilada para retirar completamente os resíduos.

Para a avaliação da germinação, foram utilizados aquênios resultantes de dois tratamentos de polinização, ambos aplicados em diferentes idades florais, ou seja, do 1º ao 5º dia de vida da flor: 1) Polinização Natural, controlada ou com restrição na visitação, (PN1, PN2, PN3, PN4, PN5); e 2) Polinização com adensamento de abelhas (PAA1, PAA2, PAA3, PAA4, PAA5).

Para cada tratamento, foram empregadas quatro repetições com 25 aquênios (total = 100 aquênios por tratamento). Os aquênios foram colocados para germinar em placas

de Petri, esterilizadas, forradas com duas folhas de papel filtro, tipo Germitest saturadas com água destilada.

Durante a condução do experimento, foram realizadas regas para manter a umidade adequada à germinação das sementes (Brasil, 2009). O experimento foi mantido sob condições de laboratório, em temperatura ambiente variando de 20° a 26,6°C, com luz constante. O acompanhamento do experimento foi diário, durante um período de 60 dias. Foram considerados germinados os aquênios com protrusão radicular de 1 mm, seguindo a metodologia proposta por Rehman et al. (1996), e o experimento foi finalizado quando a germinação foi nula por cinco dias seguidos. Após o período de 60 dias, foi realizada a contagem final do número de plântulas normais, plântulas anormais, aquênios mortos e aquênios duros, conforme instruções das Regras para Análise de Sementes (Brasil, 2009). Consideraram-se plântulas normais aquelas que apresentaram suas estruturas intactas, com defeitos em menos de 50%. As plântulas consideradas anormais foram aquelas que apresentaram suas estruturas danificadas, deformadas e/ou deterioradas por fungo. Os aquênios duros foram os que não germinaram e mantiveram o tegumento intacto e duro, quando pressionado pela pinça. Os aquênios considerados mortos foram os que apresentaram infestação por patógenos; e moles, quando pressionados pelo estilete (Brasil, 2009).

Os parâmetros avaliados foram: porcentagem de germinação (%); índice de velocidade de germinação de plântulas (IVG); Frequência Relativa (FR), de acordo com Labouriau e Valadares (1976); tempo médio de germinação (TMG), segundo Laboriau (1983); e porcentagem (%) médias de plântulas normais, anormais, aquênios duros e mortos.

A metodologia proposta por Maguire (1962) para calcular o índice de velocidade de germinação (IVG) usa a seguinte equação: $IVG = N1/G1 + G2/N2 + \dots GN/Nn$; em que $G1, G2, \dots GN = G1, G2, Gn =$ número de sementes germinadas computadas em cada contagem; $N1, N2, Nn =$ número de dias, em relação à data da semeadura.

Os resultados de biometria foram avaliados quanto à normalidade através do teste de Shapiro-Wilk; após atendida essa condição, foi aplicada a análise de variância (ANOVA) e, em seguida, o teste de Scott-Knott para comparação das médias. Os dados obtidos a partir da germinação, análises de plântulas e aquênios não germinados foram transformados em arco-seno $\sqrt{x/100}$ (Banzatto e Kronka, 2006), e submetidos à análise de variância pelo teste Scott-Knott, a nível de 5% de probabilidade. Todas as análises foram realizadas pelo Software Sisvar (Ferreira, 2011).

Resultados

A porcentagem de aquênios fertilizados por pseudofruto variou de acordo com a idade na qual a flor foi exposta, após a antese floral e com o tratamento de polinização, com o primeiro e segundo dias apresentando a maior porcentagem de aquênios fertilizados, quando houve o adensamento de abelhas (PAA).

Para esse mesmo tratamento, também se verificou um declínio acentuado na porcentagem de aquênios fertilizados no quarto dia (Figura 1A). O comprimento dos aquênios não se diferiu entre as condições de polinização e entre os dias após a antese (Figura 1B), com valores variando de 1,2 a 1,6 mm. Quanto à largura, obteve-se maior média no terceiro dia, com polinização com adensamento de abelhas; e o quinto dia para a polinização natural (Figura 1C), apresentando as maiores diferenças dentro das avaliações biométricas, com uma grande desuniformidade entre os tratamentos, com mínima de 0,9 mm e máxima de 1,15mm. A espessura apresentou uma variabilidade mínima (0,6 à 0,8 mm), tendo a polinização natural resultado em aquênios com maiores valores (Figura 1D).

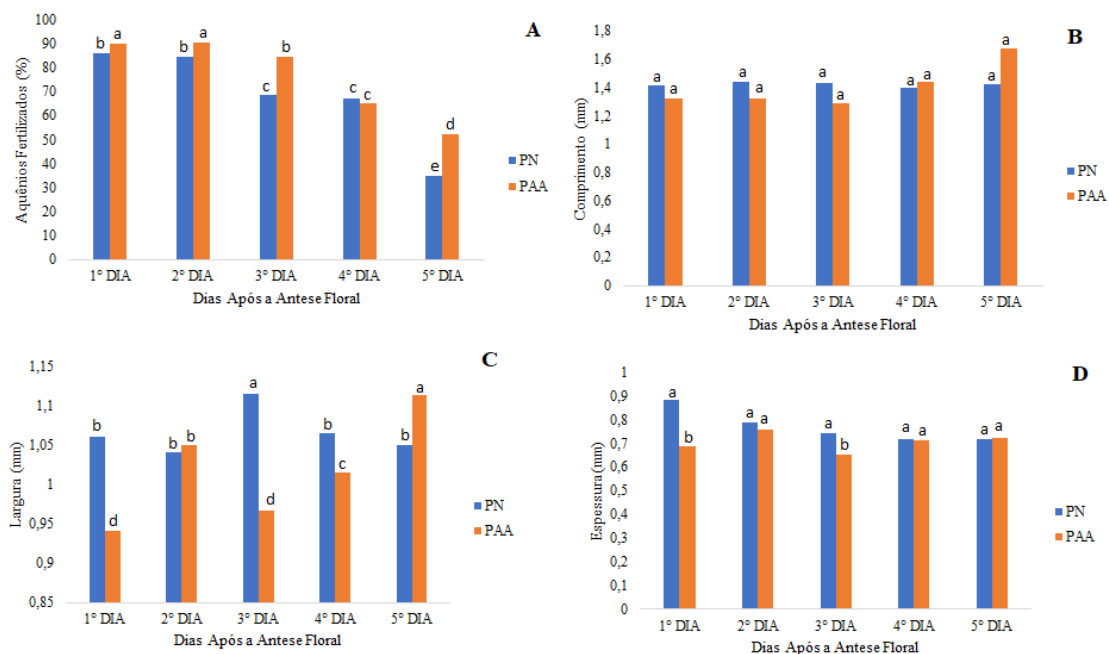


Figura 1. Número de aquênios, comprimento, largura e espessura dos aquênios de morango cultivar 'San Andreas' resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e polinização com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.

O início da germinação ocorreu no sétimo dia após a semeadura e a porcentagem variou entre 50 e 79%, para polinização natural; e 54 e 96%, para polinização com adensamento de abelhas (Figura 2). O adensamento de abelhas proporcionou uma maior porcentagem de aquênios germinados no primeiro e terceiro dia após a antese floral. A partir do quarto dia não foi notada diferença entre a polinização natural e o adensamento.

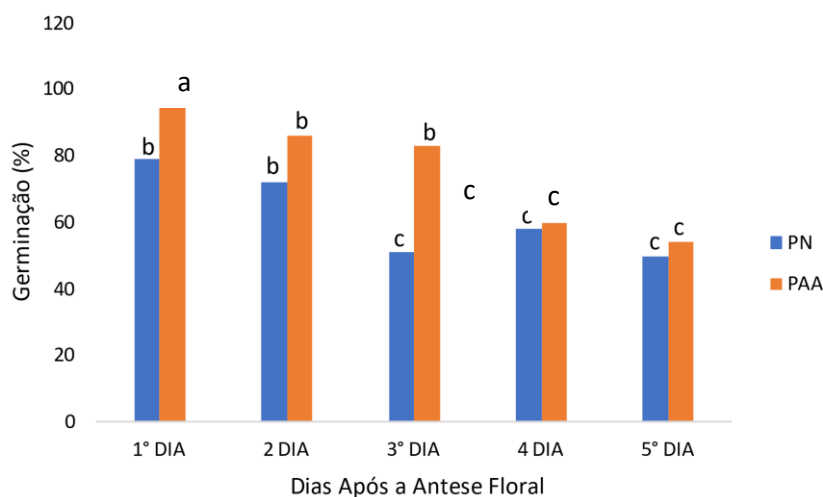


Figura 2. Porcentagem de germinação de aquênios de morango cultivar 'San Andreas' resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.

A análise da germinação através dos polígonos de frequência das germinações mostrou que os aquênios germinam irregularmente em um tempo longo, formando polígonos polimodais, no entanto, nota-se, através da análise de frequência, que a germinação se distribuiu de forma diferente nos aquênios derivados de diferentes períodos de receptividade floral (Figura 3). Quando se analisa a distribuição de frequência, é possível observar que, no esquema de polinização natural, óvulos fecundados no primeiro e segundo dia, após a antese floral, concentraram as germinações no início, deslocando as modas para a esquerda do polígono e formando uma cauda à direita com poucas germinações, diferente do tratamento de polinização com adensamento de abelhas que apresentou distribuição bastante irregular. É possível notar ainda que o adensamento de abelhas interferiu no Índice de velocidade de germinação (IVG) e no Tempo médio de germinação (TMG). Ambas as variáveis sofreram variações relacionadas ao esquema de polinização e ao número de dias após a antese floral, apresentando uma tendência crescente por parte do TMG e decrescente pelo IVG.

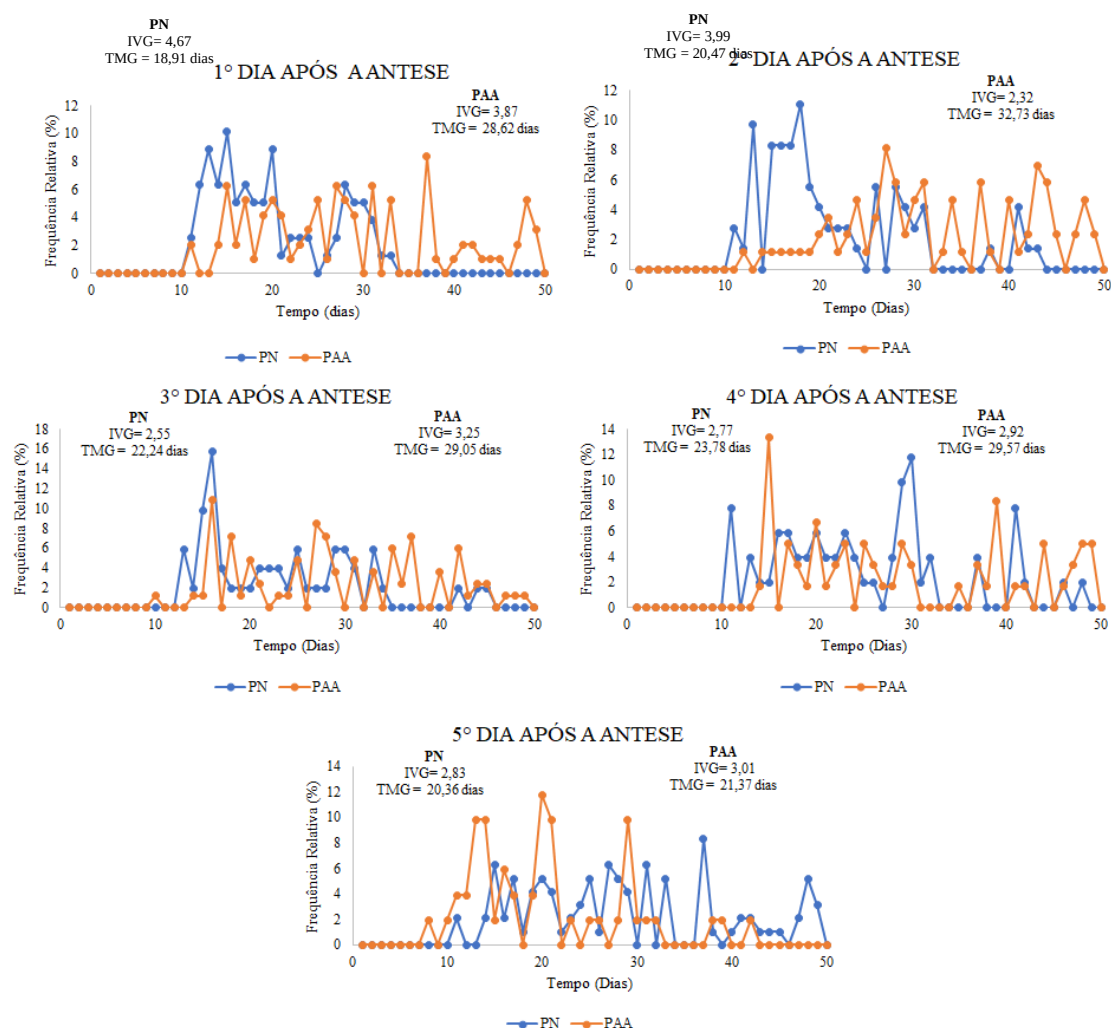


Figura 3. Frequência germinativa, Índice de velocidade de germinação (IVG) e Tempo médio de germinação (TMG) de aquênios de morango cultivar 'San Andreas' resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.

A presença do adensamento de abelhas proporcionou um maior número de plântulas normais em todos os dias avaliados após a antese floral (Tabela 1). Quando se analisa as plântulas anormais, o resultado também é bastante positivo, uma vez que o adensamento resultou em um baixo número de plântulas com anomalias. O número de aquênios duros foi maior com a presença de abelhas. Os valores referentes aos aquênios mortos foram superiores na polinização natural. Esse número de aquênios inviáveis pode ser resultado de falhas na polinização, devido à falta de polinizadores.

Tabela 1 – Médias de porcentagens de plântulas normais (PN), anormais (PA), Aquênios duros (AD) e aquênios mortos (AM) de morango cv. San Andreas

Dias Após a Antese Floral		Parâmetros Avaliados (%)			
		PN	PA	AD	AM
PN	1	21 b	44 a	8 c	27 d
	2	22 b	9 c	22 a	47 ab
	3	42 a	3 d	20 ab	35 c
	4	12 c	21 b	23 a	44 bc
	5	16 bc	19 b	15 b	50 a
CV (%)		63,44	64,11	39,99	30,24
PAA	1	65 a	8 a	15 c	12 c
	2	51 b	8 a	22 b	19 bc
	3	52 b	5 a	29 a	14 c
	4	36 c	15 b	19 bc	30 b
	5	28 c	4 a	28 a	40 a
CV (%)		31,33	53,76	26,29	51,26

Os valores seguidos pela mesma letra, na coluna, não diferem estatisticamente a $p < 0,05$.

*Médias seguidas pela mesma letra nas colunas horizontais não se diferem estaticamente entre si, pelo Teste de Scott-Knott a 5% de probabilidade.

Os aquênios advindos da polinização com adensamento de abelhas resultaram em plântulas maiores (Figura 5), não se diferindo quanto aos dias da polinização após a antese floral.

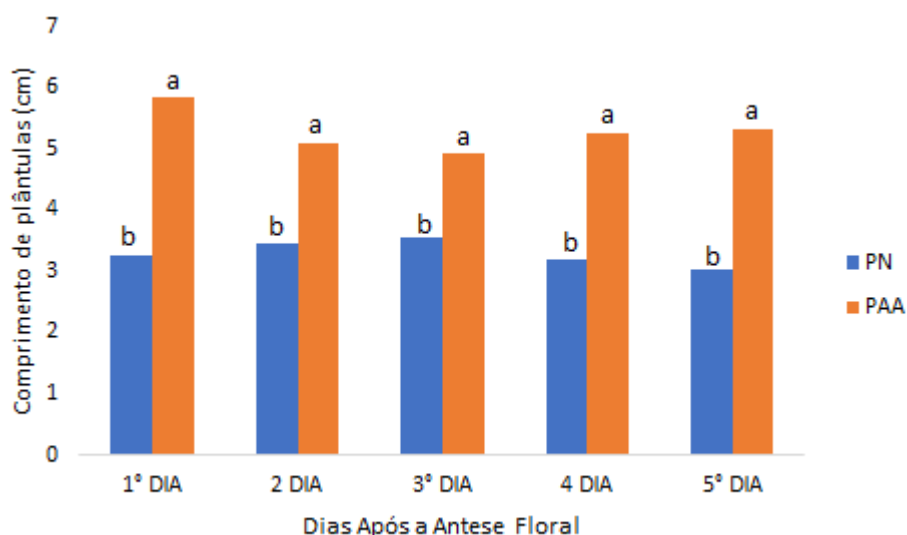


Figura 4. Comprimento de plântulas de morango cultivar 'San Andreas' resultantes de diferentes dias de polinização natural (PN) e polinização com adensamento de abelhas (PAA) em diferentes dias após a antese.

Discussão

A exposição das flores do morangueiro, no primeiro e segundo dia após a antese, proporcionou uma maior porcentagem de aquênios fertilizados por pseudofruto, demonstrando que, para a cultivar San Andreas, os primeiros dias após a antese seriam mais indicados para se obter uma maior taxa de fecundação, visto que os aquênios que possuem seus óvulos fertilizados crescem e se tornam maiores do que aqueles em que não houve a fecundação (Malagodi-Braga, 2018). Os valores de biometria dos aquênios encontrados no presente estudo são semelhantes com o de Porto et al. (2020) que, analisando os aquênios obtidos da mesma cultivar na Barra da Estiva – Bahia, na região da Chapada Diamantina, obtiveram o comprimento, a largura e a espessura média dos aquênios de 1,41 mm, 0,90 mm, e 0,79 mm, respectivamente. Sugere-se que a biometria dos aquênios nesta cultivar não seja uma variável com grande plasticidade, mantendo-se independente das condições de manejo.

Os resultados alcançados revelaram que a germinação dos aquênios, distribuída ao longo dos sessenta dias de incubação, mostrou-se importante para a sobrevivência da espécie em condições naturais, mas não é interessante para culturas comerciais (Gomes et al., 2012), para as quais a sincronização da germinação da cultura é um fator importante. Além disso, indicam que a polinização com adensamento resulta em aquênios

com maior viabilidade germinativa, principalmente no primeiro dia após a antese floral, que apresentou uma maior porcentagem de aquênios germinados.

Os aquênios que possuem seus óvulos fertilizados crescem e tornam-se maiores do que aqueles nos quais não houve a fecundação (Malagodi-Braga, 2018), demonstrando o importante papel que as abelhas possuem na fecundação dos mesmos, uma vez que, ao polinizar os estigmas, permitem a distribuição uniforme e eficiente dos grãos de pólen. O vigor das sementes é influenciado pelo teor de compostos, que é basicamente o conteúdo de reservas, que são os carboidratos, as proteínas e os lipídios (Carvalho; Nakagawa, 2000). A polinização por abelhas possibilita um melhor desempenho no enchimento de reservas da semente, após o óvulo fertilizado e desenvolvido, o que consequentemente resulta em maior qualidade fisiológica dessas sementes, tornando-as vigorosas.

Os aquênios apresentaram frequência de germinação irregular. Segundo Yanagi et al. (2004), a germinação dos aquênios de morango é relativamente baixa, desuniforme e lenta. Os resultados indicam que uma mesma espécie pode apresentar padrões germinativos diferentes, de acordo com o dia em que a fecundação ocorre.

Os aquênios (sementes) com maior vigor originam plântulas com maior taxa de crescimento, devido a sua maior capacidade de transformação e suprimento de reservas (Dan et al., 1987). Assim, é possível afirmar que o comprimento de plântulas de morango é positivamente influenciado pelo adensamento de abelhas, independentemente do dia. Como já discutido anteriormente, as abelhas tendem a ter um comportamento de movimentação nas regiões laterais e basais do receptáculo floral, pelo transporte e deposição de pólen sobre os estigmas destas regiões, fertilizando-os de maneira mais completa (Malagodi-Braga; Kleinert, 2007).

As flores, oriundas da polinização natural antes do adensamento com as abelhas-sem-ferrão, devem ter recebido um fluxo menor de visitação por abelhas e originaram aquênios com baixa germinação e vigor. Essa perda de vigor na semente está intrinsecamente relacionada às alterações no eixo embrionário por não terem sido fecundados por completo, por conseguinte, tendem a produzir plântulas fracas e menores, com potencial de rendimento reduzido.

É possível inferir que as plântulas anormais e aquênios não germinados podem ter ocorrido devido à baixa permeabilidade de água e oxigênio ao tegumento, que proporciona a embebição dos tecidos mais lentamente e uma baixa disponibilidade de

oxigênio, o que interfere diretamente nos processos de respiração e ocasiona efeito negativo ao crescimento do embrião (Lopes; Nascimento, 2012).

Sabe-se que sementes vigorosas tendem a gerar plântulas vigorosas e estas tendem a suportar com maior eficácia os estresses sofridos ao longo de seu ciclo (Nascimento et al., 2011). Desse modo, o adensamento de abelhas proporcionou plântulas maiores e uniformes, que poderão responder com maior eficiência às adversidades que possam surgir em plantios diferenciados.

Conclusões

A introdução de caixas de abelhas-sem-ferrão promoveu uma melhoria nas condições de polinização das flores, o que resultou em frutos adequados na perspectiva de melhoramento genético e desenvolvimento de novas variedades.

Conflito de interesses: Não declarado.

Referências

Abrol DP, Gorka, AK, Ansari MJ, Al-ghamdi A and Alkahtani A. Impact of insect pollinators on yield and fruit quality of strawberry. Saudi Journal of Biological Sciences. 2017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.08.003>

Antunes IEC, Carvalho GL and Santos AM dos. A cultura do morango. Embrapa Informação Tecnológica, 2. ed. rev. e ampl. – Brasília, 2011. 52 p.

Ariza MT, Soria C and Martínez-Ferri E. 2015. Developmental stages of cultivated strawberry flowers in relation to chilling sensitivity. AoB Plants 7:lv012. doi: 10.1093/aobpla/plv012.

Banzatto DA and Kronka SN. Experimentação agrícola. 4 ed. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 237p.

Brasil. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Regras para análise de sementes. Brasília: Mapa/ACS, 2009. 399p. Disponível em:

https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/insumos-agropecuarios/arquivos-publicacoesinsumos/2946_regras_analise__sementes.pdf

Carvalho JEU and Nakagawa J. Sementes: ciência, tecnologia e produção. Jaboticabal: Funep, 2000. 588 p.

Chandler CK, Foltá KM, Dale A, Whitaker VM and Herrington ME. Strawberry. In: Badenes ML, Byrne DH (org). Fruit breeding. New York: APringler, 1^a ed., p. 305-325, 2012.

Dan EL, Mello VDC, Wetzel CT, Popinigis F and Souza EP. Transferência de matéria seca como método de avaliação do vigor de sementes de soja. Revista Brasileira de Sementes, Brasília, v.9, n.3, p. 45-55, 1987.

Ferreira DF. Sisvar: a computer statistical analysis system. Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.

Galvão AG, Resende LV, Guimaraes RM, Ferraz AKL, Morales RGF, Marodi JC and Catão HCRM. Overcoming strawberry achene dormancy for improved seedling production in breeding programs. IDESIA (Chile), v. 32, n. 4, p. 57-62, 2014.

Gomes, D. R, Lopes JC, da Silva AG and Matheus MT. Frequência relativa de germinação em sementes de rabo de pitu (*Chamaecrista desvauxii* (Collad.) Killip) em casa de vegetação. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.8, n.14, p. 606, 2012.

Hancock, J.F. 2020. Strawberries. CAB International, Boston, MA.

Ito Y, Maruo T, Ishikawa M and Shinohara Y. Effects of scarification with sulfuric acid and matric priming on seed germination of seed propagation type of F-1 hybrid strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). Journal of the Japanese Society for Horticultural Science, v.80 (1), p.3237, 2011.

Labouriau, LG. A germinação das sementes. Secretaria Geral da Organização dos Estados Americanos. Washington, D.C. 1983.

Labouriau LG and Valadares MEB. On the germination of seeds *Calotropis procera* (Ait.) Ait.f. Anais da Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro. v. 48, n. 2, p. 263-284, 1976.

Lopes ACA and Nascimento WM. Dormência em sementes de hortaliças – Brasília, DF. Embrapa Hortaliças, n.136, 28 p, 2012.

Klatt B, Holzschuh A, Westphal C, Colough Y, Smit I, Pawelzik E and Tschardt T. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. Proc. R. Soc. B, v. 281,p. 2013-2440, 2014. <http://dx.doi.org/10.1098/rAPb.2013.2440>

Malagodi-Braga, KS. Embrapa Meio Ambiente. (São Paulo). A polinização como fator de produção na cultura do morango. Jaguariúna: Editoração Eletrônica Gabriel Pupo Nogueira, 2018. 13 p. (56). Disponível em: <https://www.embrapa.br/documents/1355163/39571283/Comunicado-Tecnico-56-Malagodi-Braga2018.pdf/9d0277a4-3b37-10e6-5c68-9d3e35590a54>

Malagodi-Braga KS and Kleinert AMP. Como o comportamento das abelhas na flor do morangueiro (*Fragaria x ananassa* Duchesne) influencia a formação dos frutos? **Biosci. J.**, Uberlândia, v. 23, n. 1, p 76-81, Nov. 2007.

Maguire JD. A speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. Crop Science, v.2, n.2, p.176-177, 1962.

Nascimento OMW, Dias DCFS and Silva PP. Qualidade Fisiológica da Semente e Estabelecimento de Plantas de Hortaliças no Campo. XI Curso sobre Tecnologia de Produção de Sementes de Hortaliças. 2011. <https://ainfo.cnpntia.embrapa.br/digital/bitstream/item/51460/1/palestra17-Curso-Sementes-Hortalicas-11.pdf>.

Petran A and Hoover E. The flowers of *Fragaria* × *ananassa*: Morphology, response to photoperiod, and genetics of induction. *Hortic. Rev.* 45:1–31. 2018.

Porto JM, Santos JA, Soares CC and dos Santos DL. Aspectos biométricos e grau de umidade de aquênios de morango do cultivar ‘San Andreas.’ *Ciências Agrárias: Conhecimentos Científicos e Técnicos e Difusão De Tecnologias* 4, 13–18. 2020. <https://doi.org/10.22533/AT.ED.8862015072>

Rehman S, Harris PJ, Bourne W and Wilkin, J. The effect of sodium chloride on germination and the potassium and calcium contents of Acacia seeds. *Seed Science and Technology*, Switzerland, v. 25, n. 1, p. 45-57, 1996.

Roselino AC, Santos SB, Hrnir M and Bego LR. Differences between the quality of strawberries (*Fragaria* × *ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona* aff. *depilis* and *Nannotrigona testaceicornis*. *Genetics and Molecular Research*, v. 8, n. 2, p. 539-545, 2009. <https://doi.org/10.4238/VOL8-2KERR005>

Trindade BG, Uber SC, Moraes LKA and Faria, MV. Germinação de aquênios de morangos e obtenção de seedlings in vitro. 2007. Disponível em: http://www.unicentro.br/pesquisa/anais/proic/2007/pdf/artigo_197.pdf. Acesso: 15 de nov. 2023.

Yanagi T, Okuda N and Takamura T. Germination characteristics of pincette harvested seeds in strawberry Cultivars (*Fragaria* × *ananassa* Duch.). *Japanese Society of Agricultural Technology Management*, v.11, p.1–5 (In Japanese with English abstract), 2004.

Witter S, Nunes-Silva P and Blochtein B. Abelhas na Polinização da Canola: benefícios ambientais e econômicos, Porto Alegre, 71 p., 2014.

7. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Após as análises realizadas no presente estudo, podemos inferir acerca dos impactos positivos do serviço de polinização prestado pelas abelhas *Nannotrigona testaceicornis* e *Tetragonisca angustula* na polinização, quando foram adensadas na cultura do morango, especificamente na produção da cultivar “San Andreas”.

O manejo dessas duas espécies de abelhas-sem-ferrão, para suplementação da polinização em áreas de cultivo aberto, é uma alternativa viável para plantios que apresentem déficit de polinização, proporcionando frutos de qualidade.

8. APÊNDICES



Figura 1. Registro das espécies Iraí (*Nannotrigona testaceicornis*) (A) e Jataí (*Tetragonisca angustula*) (B) na flor do morangueiro.



Figura 2. Colônias das espécies Iraí (*Nannotrigona testaceicornis*) e Jataí (*Tetragonisca angustula*) expostas em frente ao plantio de morango.



Figura 3. Metodologia do ensacamento dos tratamentos. Flores e frutos protegidos com tecido de voile (A-B) e com tecido antianfídeo (C-D).

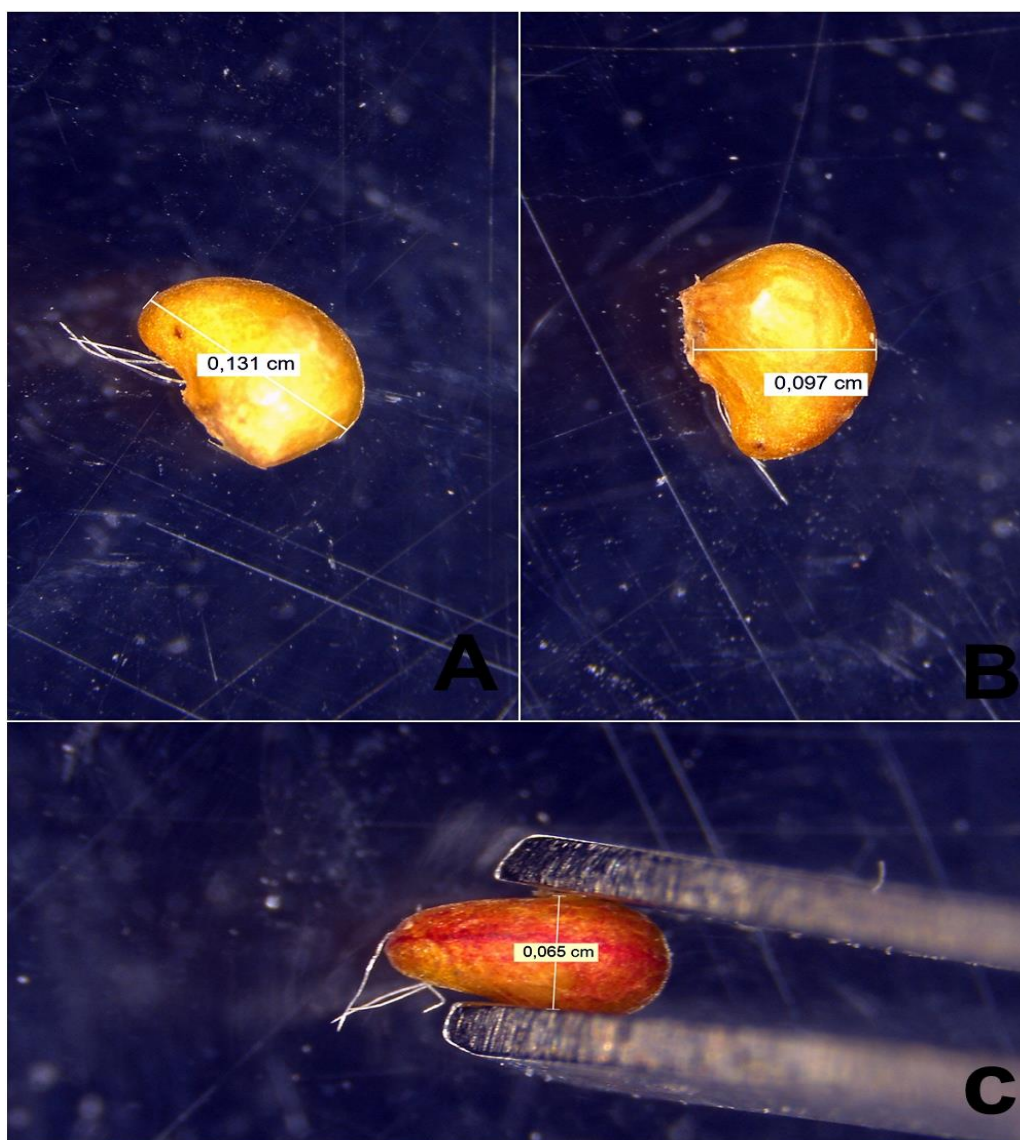


Figura 4. Metodologia da biometria dos aquênios do morango, comprimento (A); largura (B) e espessura (C).

9. ANEXO

JEE

ISSN: 2280-1228
<https://doi.org/10.1111/jee.24114>

Journal of Ecology and Environment (2024) 48:18

RESEARCH



Assessment of stingless bee densification to improve pollination service: a case study in strawberry cultivation in field conditions

Priscila Silva Miranda[✉], Zilda Cristina Malheiros Lima[✉], Raquel Pérez-Maluf[✉],
Paulo Henrique Marques Monroe[✉] and Aldenise Alves Moreira[✉]

Department of Postgraduate Studies in Agronomy – Phytoecophysiology Concentration Area, UESB – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Bahia 45021-300, Brazil

ARTICLE INFO

Received: January 29, 2024

Revised: March 27, 2024

Accepted: March 27, 2024

Published on May 20, 2024

*Corresponding author

Priscila Silva Miranda

E-mail: miranda.priscila48@gmail.com

Background: Pollination is an ecosystem service of utmost importance for agriculture. In this context, the study aimed to evaluate the pollination service of naturally occurring bees and after densification with colonies of stingless bees (*Nannotrigona testaceicornis* and *Tetragonisca angustula*) in commercial strawberry plantation. The study was carried out in the four seasons of the year and under two experimental conditions: natural pollination (NP) and pollination under bee densification. The supply of flowers and bee density were estimated. For bee densification, four boxes of colonies of *Isis* bees and four of *Jatai* bees were placed near the strawberry plantation. Five treatments were established for each condition, considering NP and pollination with bee densification on different days from flower anthesis, ranging from the 1st to the 5th day. Fruits were harvested, quantified, and submitted to evaluations to determine biometry, degree of deformity, and percentage of fertilized achenes.

Results: There was a higher density in summer compared to other seasons in both conditions evaluated. The weight was greater (20.19 g) when fruits were pollinated on the first day after floral anthesis under pollination conditions with bee densification. It was observed that free pollination provided fruits with greater a greater deformation of flowers on the fourth and fifth day after anthesis. However, when bee density became higher, the greatest degree of deformity was observed only in fifth-day fruits. The densification with stingless bees provided a 50% increase in the number of bees present on strawberry plants in summer and also a 15% increase in fruit weight and the occurrence of a lower degree of fruit deformity.

Conclusions: Density with stingless bees provided a 50% increase in the number of bees present on strawberry plant in the summer, with an improvement in fruit quality and aggregate commercial value, providing a 15% increase in fruit weight and a lower degree of deformity under the conditions of densification of *Isis* (*N. testaceicornis*) and *Jatai* (*T. angustula*) bees. Under the evaluated conditions, the introduction of stingless bee boxes in the summer is recommended.

Keywords: ex: São Andreas, *Fragaria x ananassa*, *Nannotrigona testaceicornis*, pollination, *Tetragonisca angustula*.

Introduction

Ecosystem services guarantee human beings and the environment benefits related to food production, conservation of biological diversity, recovery of agroecosystems and an economic development model that values and preserves these services can contribute to achieving social and economic well-being for more people (CGEE 2017). Among these services, pollination is an ecosystem service of ut-

most importance for agriculture, contributing to food production in addition to increasing environmental quality ensuring the reproduction and genetic variability of plant species. Insects are among the main groups of pollinating animals, which are considered the main pollinators of the planet's flora, especially bees, which are the main pollinating agents (Inouye 2023).

While bees obtain the nectar and pollen necessary to feed themselves and produce honey, agriculture benefits

© 2024 The Author(s) **Open Access**



This article is licensed under a Creative Commons Attribution (CC BY) 4.0 International License, which permits use, sharing, adaptation, distribution and reproduction in any medium or format, as long as you give appropriate credit to the original author(s) and the source, provide a link to the Creative Commons license, and indicate if changes were made. The images or other third party material in this article are included in the article's Creative Commons license, unless indicated otherwise in a credit line to the material. If material is not included in the article's Creative Commons license and your intended use is not permitted by statutory regulation or exceeds the permitted use, you will need to obtain permission directly from the copyright holder. To view a copy of this license, visit <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>. The publisher of this article is The Ecological Society of Korea in collaboration with The Korean Society of Entomology.

from pollination, which increases productivity and guarantees higher quality fruits and, consequently, higher market value. Studies have highlighted the great importance of bees in pollinating agricultural crops (Gardinali et al. 2013; Giannini et al. 2015). Due to their abundance in different ecosystems, bees appear first when it comes to pollinators for agriculture (Klein et al. 2007). According to research in the areas of interaction, pollination, and agriculture, pollinated fruits have a more seeds, greater homogeneity in maturation, more uniform shape, greater nutritional value, and a longer shelf life (Klatti et al. 2014).

Adequate management of pollinators is an alternative to increasing agricultural production and overcoming the pollination deficit in cultivated plants. Some studies have shown the efficiency of stingless bees as pollinators, and genera such as *Geotrigona*, *Melipona*, *Nannotrigona*, *Partamona*, *Platona*, *Scaptotrigona*, and *Trigona* were observed pollinating several agricultural crops (Slaa et al. 2006), such as: coffee, avocado, strawberry, pepper, tomato, among others. Stingless bees have great potential for agricultural pollination, are social, and form perennial and populous colonies with a large flow of activity, not posing risks to human health as they have strophied stinger (Michener 2007). From these perspectives, stingless bees of the species *Irai* (*Nannotrigona testaceicornis*) and *Jatai* (*Tetragonisca angustula*) are promising pollinators for different agricultural crops, promoting an increase in fruit production and quality (Malagodi-Braga and Kleinert 2004; Silva et al. 2020). In Brazil, some studies with *Irai* have been published, for example, on pollination in protected cultivation for cucumber crops (Nacodemo et al. 2013; Santos et al. 2008). In strawberry cultivation, Roselino et al. (2009) observed that, in protected cultivation, the quality of fruits improved. The same authors also reported the long time spent visiting flowers to collect pollen and nectar, favoring the pollination process. According to Lorenzon and Morado (2014), the *Jatai* bee is of paramount importance for several crops, citing it as a forager of mango, guava, ingazeira, among others. Ferreira et al. (2020) observed that in all climatic seasons of the year, *Jatai* bees foraged on plant species in diverse vegetable crops, various species of fruit trees and medicinal, spicy, and aromatic plants, among other species, which flowered in the climatic season: autumn, followed by winter, spring, and summer.

The strawberry fruit is mainly sold fresh, and because of this, the market becomes more demanding with its quality every day. However, to obtain good quality strawberries and to guarantee good productivity, pollination by bees is an important factor in strawberry production (Malagodi-Braga 2008). The study by Klatti et al. (2014) found in nine strawberry cultivars that flowers pollinated by bees resulted in fruits with high commercial value, with bee pollination increasing on average the commercial value per fruit by 38.6% compared to wind pollination and by 54.3%

compared to self-pollination. In this way, the commercial valuation of strawberry fruits for the fresh market is directly related to the pollination service.

In this context, the study aimed to evaluate the pollination service of naturally occurring bees and after densification with colonies of stingless bees (*N. testaceicornis* and *T. angustula*) in commercial strawberry plantation.

Material and Methods

Characterization of the study area

The study was carried out in the municipality of Barra do Choça, in the "Planalto da Conquista" region, with latitude 14° 52' south and longitude 40° 34' west and an average altitude of 900 m above sea level (City Hall of Barra do Choça 2020).

Experiments were carried out on a commercial planting farm with semi-organic management (use of fertigation whenever necessary) in an open field under the protection of low strawberry tunnels of the 'San Andreas' cultivar (planted area of 30 m x 30 m). Assessments were developed in the four seasons of the year 2022: summer (January–February), autumn (April–May), winter (July–August), and spring (October–November). Being applied over thirty days of each season, with the same conditions for all treatments, with the following climatic data obtained from the Meteorological Station of the State University of Southwest Bahia (Fig. 1).

Density of flowers and bee density

The density of flowers was estimated by counting the number of open flowers/m² and bee density by counting the number of bees in 100 flowers of planting, based on the FAO protocol (Vauzière et al. 2001), being in four plots on strawberry flowers before and after the installation of the colonies. Observations were carried out every day of field

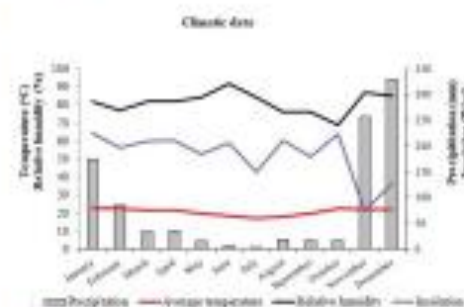


Fig. 1 Climatic data (temperature [°C], relative humidity [%], precipitation [mm] and insolation [Wh/m²]), generated by the meteorological station at the State University of Southwest Bahia in the year 2022.

observation with four randomized replicates.

Densification of stingless bees

Four boxes of populated colonies with approximately 2,000 individuals each of Irai bees (*N. testaceicornis*) and four boxes with approximately 2,000 individuals each of Jataí bees (*T. angustula*) were placed close to the strawberry plantation (5 m). The eight bee boxes were inserted into the strawberry plantation, where all treatments were applied, so that all treatments that were evaluated on this plantation were exposed to the same environmental conditions and bee density. After placing the colonies, 15 days were allowed for them to adapt to the field, and only after this period experimental evaluations carried out.

Bee colonies were provided by the Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB) Beekeeping and Meliponiculture Sector. These species occur naturally in the region and are easily managed in rational boxes.

Selection of flower buds for pollination

Flower buds were randomly chosen for all treatments, with only primary buds of inflorescences being selected one day before their anthesis, which were protected with voile fabric. On the day of each treatment, protection was removed, leaving flowers available for visitors for 24 hours and protected again according to treatments.

Pollination experiments

Treatments were carried out in beds with two rows and eleven tunnels, using a completely randomized experimental design with six replicates each.

In the first experiment, under natural planting conditions, five treatments were carried out with natural pollination (NP), varying pollination in relation to the day of floral anthesis, organized as follows: NP1 (1st day of anthesis); NP2 (2nd day of anthesis); NP3 (3rd day of anthesis); NP4 (4th day of anthesis); and NP5 (5th day of anthesis).

In the second experiment, with densification of Irai and Jataí bees, five treatments similar to the first treatment were carried out, also varying the day of floral anthesis: pollination with bee densification (PBD) - PBD1 (1st day of anthesis); PBD2 (2nd day of anthesis); PBD3 (3rd day of anthesis); PBD4 (4th day of anthesis) and PBD5 (5th day of anthesis).

Harvest and evaluations

Fruits resulting from treatments were harvested and quantified when 75% of their external surface was red and fully ripe. Fruits were taken to the Laboratory of Semiarid Biodiversity at the UESB in order to determine their physical parameters.

Evaluations were carried out on the same day of harvest, and the biometry of fruits was determined based on the following parameters: fresh mass (g), longitudinal length

(mm), and equatorial diameter (mm).

Fruits were classified into categories, according to the degree of deformation, adopted by standards of the Brazilian Program for the Modernization of Horticulture and Integrated Strawberry Production (PBMIH, PBMIH 2009): well formed (0), mild deformation (up to 30%), medium deformation (between 30% and 60%), and severe deformation (above 60%). At the end, fruits were separated to determine the fertilization rate of achenes using the methodology proposed by Thompson (1971), which consisted of removing achenes with the aid of tweezers and placing them in containers with water to determine their buoyancy capacity. Achenes that sank in an aqueous solution were considered viable, and those that floated were considered non-viable.

The percentage of fertilized achenes (PFA) was calculated according to the formula:

$$PFA = (\text{number of fertilized achenes} / \text{number of achenes per fruit}) \times 100.$$

Statistical analysis

Data from the different evaluations (supply of flowers, bee density, fruit biometry) were submitted to normality and homogeneity tests, proceeding to analysis of variance. Subsequently, these variables had the means of their treatments compared using the Scott-Knott test at 5% probability, using the statistical software SISVAR version 5.8. The percentages of fruit formation, deformation, and fertilized achenes were analyzed using the chi-square test with a probability of less than or equal to 5% using the PAST software (Hammer et al. 2001).

Collectively, data were submitted to principal component analysis (PCA) using the XLSTAT® software version 19.2.2 (Addinsoft, Paris, France) to determine the relationship between variables (bees, weight, diameter, length, PFA, and degree of deformity) and different treatments.

Results

Density of flowers and bee density

The supply of flowers varied throughout the seasons, with autumn and winter having the highest average supply (average values above 20 flowers/m²), and in the summer, the supply was the lowest (average values below 10 flowers/m²) (Table 1).

Regarding the presence of bees in flowers, there was a higher density in summer compared to other seasons in both conditions evaluated, with an increase of 50% in the density of bees in flowers after the introduction of boxes in the cultivation area (Table 1).

Considering that only summer showed a significant increase in the number of bees, the parameters of fruits from

Table 1 Average number of flowers (m²) and bees (100 flowers) in the cultivation of the strawberry cultivar ± standard deviation, under natural conditions and density bees

Seasons	Flowers (m ²)		Bees (100 flowers)	
	No densification	Densification	No densification	Densification
Summer	8.25 ± 3.77 ^{ab}	9.55 ± 4.15 ^{cd}	16.35 ± 7.49 ^{ab}	24.55 ± 6.06 ^{cd}
Autumn	21.60 ± 7.67 ^{cd}	22.75 ± 12.08 ^{cd}	1.05 ± 1.41 ^{ab}	1.35 ± 1.82 ^{ab}
Winter	20.15 ± 6.88 ^{cd}	19.40 ± 11.82 ^{cd}	1.15 ± 1.14 ^{ab}	4.30 ± 0.81 ^{ab}
Spring	11.65 ± 3.10 ^{ab}	12.45 ± 4.57 ^{abc}	1.95 ± 1.27 ^{ab}	3.95 ± 5.23 ^{ab}

Degree of freedom = 39.
Averages followed by the same letter, lower case in rows and upper case in columns, do not differ from each other according to the Scott Knott test at 5%.

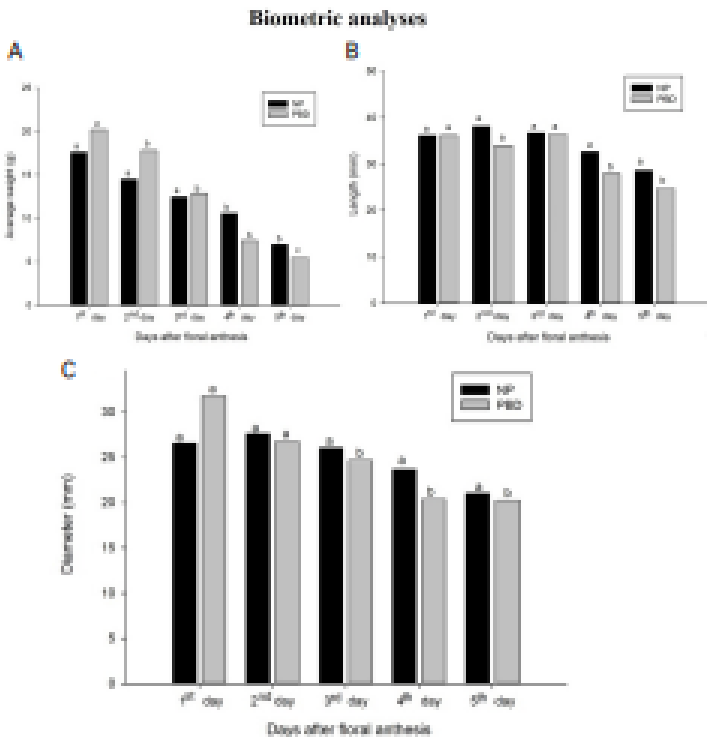


Fig. 2 (A–C) Biometric analyses (weight, length, and diameter) of strawberry fruits ‘San Andreas’ cultivar resulting from natural pollination (NP) and pollination with bee densification (PBD). Santa do Choça-Ba.

different pollination conditions were exclusively evaluated in this season.

Fruit evaluation

The amount of fruits formed in the different treatments depending on floral anthesis did not differ ($\chi^2 = 6.91^{\text{ns}}$). Considering the physical characteristics of fruits, it was observed that the weight was greater (20.19 g) when fruits were pollinated on the first day after floral anthesis under pollination conditions with bee densification, being higher than the other treatments (Fig. 2A). For pollination under natural conditions, the highest average weights occurred on the first, second, and third day after anthesis, with av-

erages of 17.62 g, 14.48 g, and 12.46 g respectively (Fig. 2A), showing increase of 15% in fruit weight only when pollination occurred on the first day after anthesis with bee densification.

For variables length and diameter, no differences between days under NP conditions were observed, while under densification conditions, fruits from the first, second, and third days after floral anthesis showed higher average length values. For diameter, only fruits from the first and second days were superior.

Regarding the degree of fruit deformity (DFD), there was a difference between treatments ($\chi^2 = 113.57, p < 0.0001$). It was observed that free pollination provided fruits with a

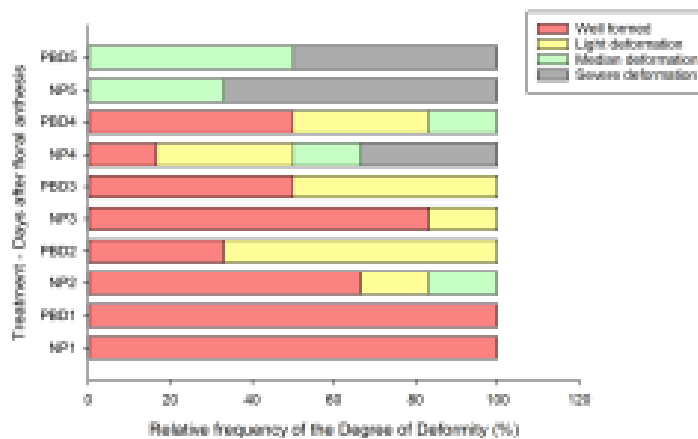


Fig. 3 Relative frequency with different degrees of deformity of strawberry ‘San Andreas’ cultivar resulting from the five days of flower after anthesis under natural pollination (NP) and pollination with bee densification (PBD). Ilama do Choça-Ba.

greater degree of deformation of flowers on the fourth and fifth day after anthesis (Fig. 3). However, when bee density increased, the greatest degree of deformity was observed only in fifth-day fruits.

Percentage of fertilized achenes

The average PFA showed that, under NP conditions, the first and second day of flower presented higher percentages (86% and 83%, respectively), not differing from each other. In PBD, the days with the highest values were the first, second, and third (90%, 90%, and 83%).

Joint analysis

The joint analysis of data using PCA showed that bees and flowers were responsible for the variation along principal component 1 (PC1) and explained 72.37% of the dissimilarity (Fig. 4). Variables weight, diameter, length, DFD, and PFA were the attributes most associated with main component 2 (PC2), which explained 19.80% of the variation between treatments.

The graphic dispersion provided by PCA was presented in two dimensions and showed that the biometric parameters of fruits are associated with days of pollination after anthesis, being more influenced on days 1, 2, and 3 (NP1, NP2, NP3, PBD1, PBD2, PBD3). The degree of deformation is more correlated to the fifth day after anthesis, and PFA is correlated to the first day of pollination after anthesis with densification (PBD1). The number of bees is correlated with bee density.

Discussion

Strawberry cultivation showed variations in the supply of flowers in the year of evaluation, with more flowers in autumn and winter, months where the lowest temperatures

Principal Component Analysis (PCA)

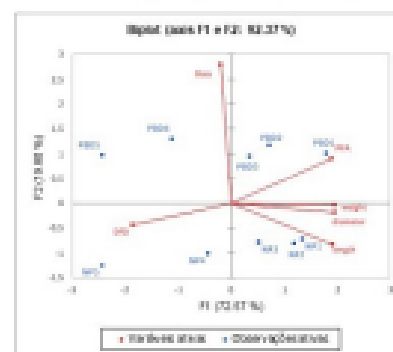


Fig. 4 Ordination diagrams produced by the analysis of the main components (bees, weight, length, diameter, percentage of fertilized achenes (PFA), and degree of fruit deformity (DFD)) of treatments with natural pollination (NP) and pollination with bee density (PBD) in strawberries and characteristics of the fruits obtained.

occurred under the study conditions. The ‘San Andreas’ cultivar is considered a photoperiod-neutral cultivar that flowers at temperatures varying between temperatures equal to or below 10°C and above 28°C (Costa et al. 2014). However, as observed by Taylor (2002), strawberry crops behave better at daytime temperatures around 18°C, corroborating our results.

The density of bees in flowers was influenced by seasons, marked by the semiarid climate characteristic of the region, assuming an effect of temperature, sunshine, and precipitation on the foraging of individuals. The influence of climatic factors on the flow of external activity of bees has been addressed in different species, and there is evidence of positive modulation in foraging intensity with temperature and light intensity (Alves et al. 2013; De Brui-

jn and Sommerer 1997; Palma et al. 2008; Silva and Gimenes 2014). Under the conditions of this study, there was bee activity in the different seasons, but with a significant reduction in the colder seasons.

To ensure the ecosystem service of pollination, it is essential to maintain colonies/bees close to crops and with good density. Some crops are especially attractive to bees, such as soybeans, sunflowers, coffee, cotton, strawberries, citrus, peaches, pumpkins, melons, and many others. To achieve good pollination, the number of colonies/bees in the cultivation area must be high, ranging from 4 or 8 colonies/bees per hectare of *Apis mellifera*, according to the needs of the target crop and climatic conditions (Wolff et al. 2022). In the present study, it was decided to add eight colonies in order to guarantee greater success in pollination and because they are two different species (Jatai and Irai) and smaller in size (one of each).

In the state of Espírito Santo, Ferreira et al. (2020) observed that in all seasons of the year, Jatai bees foraged on plant species in diversified vegetable crops, various species of fruit trees, and medicinal plants, among other species, which flowered in the climatic season of autumn, followed by winter, spring, and summer.

In the same sense, Alves et al. (2015) found that the Irai species forages even on cold days, but they return from the field earlier and quickly close the nest entrance, while in hot seasons of the year, characterized by high temperatures and long light periods, they forage for longer, delaying their return to the nest until after sunset.

Pollination services associated with bee behavior in flowers are important in strawberry cultivation, especially when pollination is favored on the first day of floral anthesis. There was not only an increase in fruit weight, but also in the proportion of fruits with a lower degree of deformation and greater fertilization of achenes. The behavior of visits by bees of different species to flowers results in a uniform distribution of pollen on pistils, producing well-formed and heavier fruits (Scheid et al. 2020). The pollination service by Jatai and Irai bees provides a 15% increase in weight, which contributes to the productive potential of the cultivar. In cultivars such as 'Oso Grande' and 'Sweet Charlie', Jatai bees (*T. angustula*) demonstrated pollination effectiveness, in addition to reducing the percentage of deformed fruits, showing an increase in fruit weight (Malagodi-Braga 2018). Thus, like Irai bees (*N. testaceicornis*), which in the study by Silva et al. (2020), visits of bees also provided an increase in weight for the same cultivar as in the present work.

It is noted that increasing the mass of the strawberry receptacle does not necessarily result in a proportional increase in the diameter and length of the fruit. This suggests that fruit development can occur independently in different aspects, such as size and weight. This discovery could have important implications for understanding the growth

and development processes of strawberries, as well as influencing cultivation practices and variety selection.

This relationship can vary depending on several factors, such as the variety of strawberry, the growing conditions, the environment in which they are grown and the type of pollination that occurred. In a similar study evaluating the performance of strawberry cultivars subjected to different types of pollination in protected cultivation, Witter et al. (2012) also found no correlation between fruit weight and diameter, where the fruit with the greatest weight was not always the one with the largest diameter.

The different analyses of the results show that the greater or lesser degree of deformation of fruits is associated with the period of exposure of the flower after anthesis, and the later the flower is pollinated, the greater the degree of deformation. Deformations in strawberry fruits are due to poor pollination through unfertilized stigmas in the basal, lateral, and apical regions of the floral receptacle (Arima et al. 2011). Thus, it could be considered that pollination in the first days of floral anthesis provides uniform fertilization of stigmas, causing homogeneous growth of the floral receptacle, resulting in well-formed fruits.

It was observed that bee densification in the area extended until the fourth day of flower opening for pollination to occur, when fruits were 83.33% suitable for the fresh consumption market, as they were well formed.

On the fifth day, both under NP and under PBD, flowers showed higher rates of serious deformation, being considered unsuitable for the fresh consumption market (86.66% and 50%, respectively). This was probably due to the flower opening time and the fact that they were bagged, when self-pollination may have occurred, resulting in a high frequency of fruits with serious deformations. Corroborating results were found by Zapata et al. (2014), in which, even though the strawberry flower was considered self-fertile, self-pollination was not able to distribute the pollen evenly among stigmas, a fact that gave rise to deformed fruits.

Deformities occur when the achenes are not fully fertilized, the receptacle does not develop completely and presents different degrees/levels of deformation. Therefore, the complete development of the floral receptacle is associated with the fertilization of all pistils (Malagodi-Braga 2018). Scheid et al. (2020), in a study on the effectiveness of bees as strawberry pollinators, reported that the 'San Andreas' cultivar was dependent on the biotic pollination of bees, showing a significant increase in the fertilization of achenes with visits carried out with different species. In the present study, the parameter PFA indicated that on the first and second days, there was a higher rate in both pollination conditions (NP and PBD), and on the third day with bee densification, the increase of the first days was maintained, assuming that the presence of bees favors the fertilization of achenes for another day of open flower.

The results obtained by the graphic dispersion given by

PCA suggest that variations in biometric characteristics are associated with the day of pollination after anthesis, and the bee densification promoted a greater presence of bees in the field. Bees present in natural conditions in the environment may not be sufficient for an ecosystem pollination service, and the introduction of stingless bees can provide great benefits. Albano et al. (2008) recommend that, to ensure year-round strawberry pollination, strawberry growers should take advantage of various pollinators, such as native bees, honey bees, and flies, to prolong pollination activity and increase the resilience of the pollinator community against environmental changes. Although in Brazil renting beehives (migratory beekeeping) is not a common practice, considering that in the tropical climate there is a greater number of pollinators, such as coleopterans, dipterans, and others, there has been a growing interest among rural producers in using bees to increase productivity (Saloni and Orth 2004; Vieira et al. 2008).

In general, the results confirm that the bee pollination service provides quality improvements in terms of fruit formation, reducing the degree of deformation of pollinated strawberry fruits up to the fourth day of the summer season, being considered viable for the fresh consumption market.

For the other seasons (autumn, winter, and spring), complementation with other species of pollinators with different body sizes and foraging behaviors is suggested, which can contribute to guaranteeing production, minimizing pollination deficits, and thus, increasing crop yield.

The use of stingless bees in family farming offers a series of significant advantages. In addition to the low initial investment requirement, these bees are less aggressive compared to traditional honey bees, which reduces the need for protective equipment. This makes them especially accessible to small farmers, who often have limited resources. The honey produced by these bees generally has a high added value due to its quality and its appeal as a natural and sustainable product. This can represent an additional source of income for family farmers, whether through the direct sale of honey or derived products such as propolis, royal jelly, and wax (Magalhães and Venturieri 2000). There are a growing number of studies showing the benefits of using stingless bees in agriculture (Jalil and Roubik, 2017; Quezada-Euán 2018). However, it is necessary to the practices and management of the activity to transform it into a development tool, making it more productive and increasing the income of creators (Jaffé et al. 2013).

In short, the use of stingless bees in family farming is a promising strategy that combines economic, ecological, and social benefits, contributing to the sustainability and development of rural communities. It is an easy-to-manage and low-cost activity that can be found in different parts of the world (Coriepassi-Laurino 2017).

Conclusions

Density with stingless bees provided a 50% increase in the number of bees present on strawberry plant in the summer, with an improvement in fruit quality and aggregate commercial value, providing a 15% increase in fruit weight and a lower degree of deformity under the conditions of densification of Irai (*N. testaceicornis*) and Jataí (*T. angustula*) bees.

Under the evaluated conditions, the introduction of stingless bee boxes in the summer is recommended.

Abbreviations

NP: Natural pollination
 PND: Pollination with bee densification
 PFA: Percentage of fertilized achenes
 PCA: Principal component analysis
 DFD: Degree of fruit deformity

Acknowledgements

We would like to thank the State University of Southwest Bahia, Campus Vitória da Conquista, for the structure available to carry out this study, the Graduate Program in Agronomy and the CAPES (Foundation Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel) for the support, and the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB) for the financing and scholarship grant. The producer Sorlange for providing the site and commercial planting to carry out the research and Dr. Genesira Souza for the concession of bee colonies.

Author's contributions

PSM and RPM conceived the idea designed in the study. PSM, ZCML, and RPM contributed to preparing, quantifying the samples, and conducting field experiments. AAM, PHMM, and RPM proofread the manuscript. All authors wrote the article and approved the final version of the manuscript.

Funding

This research was funded by the Graduate Program in Agronomy, for the support, and the Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia (FAPESB).

Availability of data and materials

The datasets generated and/or analyzed during the present study are available from the corresponding author upon reasonable request.

Ethical approval and consent to participate

Not applicable.

Consent for publication

Not applicable.

Competing interests

The authors declare that they have no competing interests.

References

- Alfaro S, Salvado E, Duarte S, Maria A, Borges PW. Pollination efficiency of different strawberry floral visitors in Elhatojo, Portugal: selection of potential pollinators. Part 2. *Adv Horti Sci*. 2009;23(4):246–53.
- Alves LH, Sousa LA, Barreto-Lima AJ, Mucci GMP, Prunzio F. Biology of opening and closing the access tube *Nannotrigona rufocincta* (Lepelletier) (Apidae: Meliponini). *Etmologia*. 2015;8(1):8–11. <https://doi.org/10.12743/etm.v8i1.458>.
- Ariza MT, Serra C, Medina JJ, Martínez-Ferrí E. Fruit morphology in strawberry cultivars (*Fragaria × ananassa*) is related to achene functionality. *Ann Appl Biol*. 2013;158(1):139–8. <https://doi.org/10.1111/j.1364-7744.2010.00453.x>.
- Centro de Gestão e Estudos Estratégicos (CGEE). [Importance of pollinators in food production and food security global]. Brasília: CGEE; 2017. 124 p. Portuguese.
- City Hall of Ilheus do Choça. 2020. <http://ilheusdochoça.com.br/home/pagina/post>. Accessed 6 Apr 2022.
- Cortopassi-Lautao M. [Historical overview of development projects of meliponiculture in Rio Grande do Norte]. In: Inquerito-Fonseca VL, Koodan D, Hincir M, editors. [The jandaia bee: in the past, in the present and future]. Mossoró: Ed. FURSA; 2017. p. 135–48. Portuguese.
- Costa RC, Calvete DO, Mendonça JFC, Costa LA. Phenology and leaf accumulation in vernalized and non-vernalized strawberry seedlings in neutral-days. *Acta Sci Agron*. 2014;36(1):57–62. <https://doi.org/10.4025/actaagron.v36i1.17285>.
- De Bruijn LLM, Summayer MJ. Colony foraging in different species of stingless bees (Apididae, Meliponinae) and the regulation of individual worker foraging. *Insectes Soc*. 1997;44:35–47. <https://doi.org/10.1007/s000400050028>.
- Ferreira EA, de Freitas SP, Bandeira OHS, Calça PDSST, Paixão MVS, Vieira KIC. Plants cultivated with potential for meliponiculture in organic agroecosystem in the mountainous region of Espírito Santo State. *Braz J Dev*. 2020;6(13):88134–44. <https://doi.org/10.34117/bj-dev.v13.282>.
- Garibaldi L, Steffan-Dewenter I, Winfree R, Aizen M, Bursarova R, Cunningham SA, et al. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance. *Science*. 2013;339(6127):1608–11. <https://doi.org/10.1126/science.1237820>. Erratum in: *Science*. 2014;344(6186):816.
- Giamini TC, Cordeiro GD, Freitas BM, Santana AM, Imperatriz-Fonseca VL. The dependence of crops for pollinators and the economic value of pollination in Brazil. *J Econ Entomol*. 2015;108(3):849–57. <https://doi.org/10.1093/jee/tov095>.
- Hammer O, Harper DAT, Ryan PD. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontol Electron*. 2001;4(1):9.
- Inouye DW. Role of pollinators. In: Levin SA, editor. *Encyclopedia of Biodiversity*. 2nd ed. Amsterdam: Academic Press; 2013. p. 140–6.
- Jaffi R, Maia UM, Carvalho AT, Imperatriz-Fonseca VL. [Diagnosis of meliponiculture in Brazil]. *Sociedade Mensage*. 2013;120:7–9. Portuguese.
- Jell AJ, Roschik DW. Handbook of meliponiculture: Indo-Malayan stingless bees. Selangor: Akademi Lahar Malaysia Sdn Bhd; 2017.
- Khan BK, Holschuh A, Weipfahl C, Chough Y, Sait I, Porechok E, et al. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value. *Proc Biol Sci*. 2014;281(1775):20132440. <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2440>.
- Klein A, Vaissière B, Cane J, Steffan-Dewenter I, Cunningham SA, Kromm C, et al. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc Biol Sci*. 2007;274(1608):1305–13. <https://doi.org/10.1098/rspb.2006.1721>.
- Lorenson MC, Morado CN. [The Jandaia bee: flora visited in the Atlantic Forest]. Rio de Janeiro: Federal Rural University of Rio de Janeiro; 2014. 122 p. Portuguese.
- Magalhães TL, Viçariotti GC. [Economic Aspects of Creating Indigenous Stingless Bees (Apidae: Meliponini) in the Northeast Pará]. Belém: Embrapa; 2010. Portuguese.
- Malagodi-Braga KS. [Pollination as a production factor in culture of strawberry]. Jaguarina: Electronic Publishing Gabriel Pupo Walcott; 2018. Portuguese.
- Malagodi-Braga KS, Kleinert AMP. Could *Tetragonisca angustula* Latreille (Apidae, Meliponini) be effective as strawberry pollinator in greenhouses? *Acta J Agric Res*. 2004;55(7):771–3. <https://doi.org/10.3071/AR05240>.
- Michener CD. The bees of the world. 2nd ed. Baltimore: Johns Hopkins University Press; 2007. 953 p.
- Nicodemo D, Malheiros EB, Jong ED, Costa RHN. Enhanced production of perihemicarpic cucumbers pollinated with stingless bees and Africanized honey bees in greenhouses. *Semin: Ciênc Agric*. 2013;34(6 Suppl. 1):3625–34. <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2013v34n6Supl3p3625>.
- Palma G, Quacarda-Espin JG, Reyes-Oregón V, Meléndez V, Moo-Villal H. Production of greenhouse tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) using *Nannotrigona peruviana*, *Trigona imitans* and mechanical vibration (Hym.: Apoidea). *J Appl Entomol*. 2008;132(1):79–85. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2007.01246.x>.
- PBMH, PIMO. [Brazilian Program for the modernization of Horticulture & integrated strawberry production. Montage Classification Standards]. São Paulo: CTAGESP; 2009. Portuguese.
- Quacarda-Espin JG. Stingless bees of Mexico: the biology, management and conservation of an ancient heritage. Cham: Springer; 2018.
- Rovellato AC, Santos SB, Hincir M, Bago LR. Differences between the quality of strawberries (*Fragaria × ananassa*) pollinated by the stingless bees *Scaptotrigona aff. depilis* and *Nannotrigona rufocincta* Lepelletier. *Genet Mol Res*. 2009;8(2):539–45. <https://doi.org/10.4230/VOL8-2GMR095>.
- Salcedo JA, Oth AE. [Pollination in apple orchards: new methodology for increasing fruit set with correct management of bees]. *Agropecuária*. 2014;27:101–16. Portuguese.
- Santos SA, Rovellato AC, Bago LR. Pollination of cucumber, *Cucumis sativus* L. (Cucurbitaceae: Cucurbitaceae), by the stingless bees *Scaptotrigona aff. depilis* and *Nannotrigona rufocincta* Lepelletier (Hymenoptera: Meliponini) in greenhouses. *Notrop Entomol*. 2008;77(3):506–12. <https://doi.org/10.1590/s1519-5662008000000002>.
- Scheld L, Mattarelli NS, Hobbler DE, Grachewski-Wisniewski FC. Efficacy of bees in pollination strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch., cultivar San Andreas) in southern Brazil. *Lumina*. 2020;22(2):6

17. Silva GR, Pires-Matuf R, Ribeiro GS, Granado ALJ. Pollination service of *Nannotrigona testaceicornis* stingless bees in strawberry. *Am J Biol*. 2020;87:e0282019. <https://doi.org/10.1590/1806-1657000292019>.
- Silva WP, Gimenes M. Pattern of the daily flight activity of *Nannotrigona testaceicornis* (Lepidoptera) (Hymenoptera: Apidae) in the Brazilian semiarid region. *Sociobiology*. 2014;63(4):547–53.
- Silva AJ, Sánchez-Chaves LA, Malagodi-Braga KS, Hofensta FE. Stingless bees in applied pollination: practice and perspectives. *Apidologia*. 2008;37(2):293–315. <https://doi.org/10.1051/apidologia/2006022>.
- Taylor DR. The physiology of flowering in strawberry. *Acta Horti*. 2002;567:345–51. <https://doi.org/10.17660/ActaHorti.2002.567.50>.
- Thompson DA. Environmental effects on pollination and receptacle development in the strawberry. *J Hort Sci*. 1971;46(1):1–12. <https://doi.org/10.1080/00221589.1971.11514376>.
- Valentini BU, Freitas BM, Gennari-Herron B. Protocol to detect and assess pollination deficits in crops: a handbook for its use. Rome: FAO; 2011.
- Vieira PTESS, Cruz DO, Gomes MFM, Oliveira Campos LA, Lima JE. [Economic value of pollination by bumble bees in cultivation of yellow passion fruit]. *Rev Iberoam Econ Ecol*. 2010;15(1):43–53. Portuguese.
- Wimer S, Radin B, Lisboa BB, Teixeira JSG, Blochstein R, Imperatriz-Fonseca VL. Performance of strawberry cultivars subjected to different types of pollination in a greenhouse. *Pesq Agropec Bras*. 2012; 47(1):58–65. <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2012000100009>.
- Wolff LJ, Zanussi JT, dos Santos RSS, Polakmann V. [Directed pollination of crops with beekeeping]. In: Wolff LJ, Eicholz BD, editors. [Alternatives for Diversification of Basic Family Farming Ecological -2022]. Pelotas: Embrapa Clima Temperado; 2022. p. 53–6. Portuguese.
- Zapata H, Villalobos CMB, Ariza MD, Solís ES, Jaime GAd, Jones RW. Effect of pollination of strawberry by *Apis mellifera* L. and *Chrysoperla carnea* S. on quality of the fruits. *Nov Sci*. 2014;5(13): 85–100.