



**MINISTÉRIO DE EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DA AMAZÔNIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

LEILANE ÁVILA BEZERRA

**BIOLOGIA FLORAL DE UMA LIANA NATIVA
HETERODICOGÂMICA, *Gouania cornifolia* REISSEK
(RHAMNACEAE), COM POTENCIAL PARA REGENERAÇÃO
NATURAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

**BELÉM, PA
2021**

LEILANE ÁVILA BEZERRA

**BIOLOGIA FLORAL DE UMA LIANA NATIVA
HETERODICOGÂMICA, *Gouania cornifolia* REISSEK
(RHAMNACEAE), COM POTENCIAL PARA REGENERAÇÃO
NATURAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal Rural da Amazônia, como parte das exigências do Curso de mestrado em Agronomia: área de concentração Produção Vegetal em Sistema Agrícolas, para obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Dra. Telma Fátima Vieira Batista

Co-orientadora: Dra. Márcia Motta Maués

**BELÉM, PA
2021**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas da Universidade Federal Rural da Amazônia
Gerada automaticamente mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

B574b Bezerra, Leilane Ávila

BIOLOGIA FLORAL DE UMA LIANA NATIVA HETERODICOGÂMICA, *Gouania cornifolia* REISSEK (RHAMNACEAE), COM POTENCIAL PARA REGENERAÇÃO NATURAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA / Leilane Ávila Bezerra. - 2021.
77 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado) - Programa de PÓS-GRADUAÇÃO em Agronomia (PPGAGRO), Campus Universitário de Belém, Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Belém, 2021. Orientadora: Prof^ª. Dra. Telma Fátima Vieira Batista. Co-orientadora: Dra. Márcia Motta Maués

1. Dimorfismo. 2. Andromonoiccia. 3. Protandria. 4. Dicogamia. I. Batista, Telma Fátima Vieira, *orient.* II. Maués, Márcia Motta, *co-orient.* Título

CDD 582.0463

LEILANE ÁVILA BEZERRA

**BIOLOGIA FLORAL DE UMA LIANA NATIVA
HETERODICOGÂMICA, *Gouania cornifolia* REISSEK
(RHAMNACEAE), COM POTENCIAL PARA REGENERAÇÃO
NATURAL NA AMAZÔNIA BRASILEIRA**

Dissertação apresentada ao Curso de Agronomia da Universidade Federal Rural da
Amazônia como parte das exigências para obtenção do título de Mestre em Agronomia:
Área de Concentração: Agronomia.

Orientadora: Prof^a. Dra. Telma Fátima Vieira Batista

Co-orientadora: Dra. Márcia Motta Maués

Aprovada em: __ 26 de fevereiro de 2021 __.

BANCA EXAMINADORA

Dra. Márcia Motta Maués - Presidente
Embrapa Amazônia Oriental

Dra. Marlúcia Bonifácio Martins - 1º Examinadora
Museu Paraense Emílio Goeldi – MPEG

Dra. Cinthya Arruda – 2º Examinadora
Universidade Federal do Pará – UFPA Campus Soure

Alistair John Campbel – 3º Examinador
Embrapa Amazônia Oriental / CNPq

Para José Maria e Tereza Ávila,

Meus pais,

DEDICO

AGRADECIMENTOS

Ao meu guia eterno, DEUS, pelo amor incondicional que me deu forças para prosseguir nas horas difíceis.

Aos meus pais, com todo meu carinho, Terezinha Jesus e José Maria a quem devo parte de minhas conquistas e compreenderam minha ausência estudando longe de casa;

Às minhas queridas irmãs, Gleisy, Geisiane, Geisa Ávila por todo apoio, amor e respeito;

À Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) e Coordenação do Curso de Mestrado em Agronomia e todos os professores pela oportunidade de estudos, motivação e aprendizado, particularmente a Dra. Telma Fátima Vieira Batista, pela orientação, imenso apoio, respeito e por acreditar na realização deste trabalho;

Ao projeto de pesquisa “Como as interações ecológicas influenciam as atividades de mineração e seus esforços de restauração ambiental pós-mineração no município de Paragominas, área degradada da Floresta Amazônica Brasileira”, Biodiversity Research Consorciun Brasil-Noruega (BRC), pelo trabalho vinculado;

Ao Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), que desenvolveu o projeto de pesquisa, em especial, a coordenadora geral, Dr. Marlúcia Martins Bonifácio que guiou a realização deste projeto sempre com muita eficiência, dedicação e desenvolvendo discussões fundamentais em várias etapas do trabalho;

À Companhia Mineradora de Bauxita NORSK HYDRO, pelo financiamento dos materiais e equipamentos de campo e laboratório, por todo apoio logístico, no transporte, infraestrutura e recursos humanos que viabilizaram a concretização desta pesquisa;

À Embrapa Amazônia Oriental, pelo apoio institucional, principalmente à Dra. Márcia Motta Maués pela co-orientação, incentivo e ajuda constante, permitindo a realização do trabalho no Laboratório de Entomologia, onde recebi treinamento em biologia floral e ecologia da polinização como bolsista de Iniciação Científica desde a Graduação.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), do Campus de Bragança, em especial a professora Marivana Borges Silva, pelos ensinamentos valiosos em campo, pelo acolhimento, disposição e paciência e por ceder o Laboratório de Microscopia para as medições das partes florais e fotografias das flores em microscópio óptico.

Ao professor Anderson Silva por permitir o uso do microscópio óptico para análise da viabilidade polínica das flores de *Gouania cornifolia* e a Shirlene Brito pelo apoio técnico

no laboratório de pesquisa da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus de Paragominas.

Aos membros da banca examinadora pelas importantes sugestões e melhorias sobre o trabalho;

À Fundação de Amparo e Desenvolvimento a Pesquisa (FADESP), pela bolsa de estudos concedida;

Aos parataxônomos Manoel dos Reis Cordeiro e Miguel Santa Brígida do Herbário IAN - Embrapa Amazônia Oriental e Luís Carlos do Herbário João Murçá Pires - Museu Paraense Emílio Goeldi, pelas identificações e registros das amostras botânicas coletadas no campo.

Aos especialistas do Museu Paraense Emílio Goeldi que realizaram as identificações dos insetos coletados nas flores de *Gouania cornifolia*: Dra. Beatriz Woiski Coelho (Apoidea), Dr. Orlando Tobias Silveira (Vespidae), Dr. Fernando Carvalho-Filho e doutoranda Carol Souza (Diptera); da Universidade do Estado do Pará (UEPA), Dra. Jéssica Herzog Viana (Chrysomelidae); e Universidade Federal do Pará, Prof^a Dra. Roberta Valente (Curculionidae).

Ao aluno de mestrado César Favacho do MPEG pelas fotografias dos insetos visitando as flores no campo;

Ao Carlos Álvares do MPEG pela confecção da ilustração botânica;

Aos funcionários da Gerência de Meio Ambiente da Hydro, Gizelia Matos, Victor Barbosa, Alessandra Soares, Vicente Souza, Silvio Lemos, Isaac Aquino, Alciene Santos e Giuliana Vasconcelos por disponibilizar os dados meteorológicos, o histórico e características de todas as áreas demarcadas e o mapa de localização das áreas de regeneração natural após a mineração e áreas de floresta;

A todos que me ajudaram nas atividades de campo, Erivan, Francisco, Jhonatam, Ronaldo, Pena, Gaspar, Sandreson, Suely, Clodomir, Rosivaldo e Lélío;

À equipe de trabalho do Laboratório de Entomologia da Embrapa Amazônia Oriental, Frota, Valdenor, Wilson, Marcos, Christiane, Leandro (*in memoriam*), Marcelo, Matheus, Anielle e Ágata, pelo apoio técnico, amizade e companheirismo durante as atividades de laboratório;

Aos colegas do projeto William, Arleu, Rita, Graziela, Ana Christina, Alessandra, Raphael, Thamires, Kauane, Rodrigo, Chris e Jhames pela convivência e amizade;

À todos os alunos deste curso de mestrado, pela amizade e companheirismo;

“Árvores são poemas que a terra escreve para o céu”

Kalil Gibran

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT.....	14
1.CONTEXTUALIZAÇÃO.....	15
REFERÊNCIAS.....	18
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	23
2.1. Classificação botânica de <i>Gouania cornifolia</i> Reissek.....	23
2.2. Fenologia de Floração em Rhamnaceae	25
2.3. Importância da família Rhamnaceae.....	26
2.4. Biologia Floral e Polinização em Rhamnaceae.....	28
2.5. Visitantes Florais de <i>Gouania cornifolia</i>	30
REFERÊNCIAS.....	32
ANEXO 1 - Lista dos visitantes florais de <i>Gouania cornifolia</i>.....	37
3. FLORAL BIOLOGY OF A NATIVE HETERODICHOGAMOUS LIANA, <i>Gouania cornifolia</i> REISSEK (RHAMNACEAE), WITH POTENTIAL OF NATURAL REGENERATION IN THE BRAZILIAN AMAZON.....	41
ABSTRACT.....	42
3.1. Introduction.....	43
3.2. Material and methods.....	46
3.2.1. Study site.....	46
3.2.2. Floral and inflorescence morphology.....	46
3.2.3. Floral phenophases.....	47
3.2.4. Stigma receptivity.....	48
3.2.5. Location of the osmophores.....	48
3.2.6. Pollen and nectar presentation.....	49
3.3. Results.....	49
3.3.1. Reproductive phenology.....	49
3.3.2. Floral and inflorescence morphology.....	50
3.3.3. Floral phenofases and stigma receptivity.....	51
3.3.3.1. <i>Bisexual flower</i>	51
3.3.3.2. <i>Staminate flower</i>	52
3.3.4. Nectar availability.....	53
3.3.5. Pollen viability and odor production	53
3.4. Discussion.....	53

3.4.1. Floral events, flower morphology, resources and attractants.....	53
3.4.2. Sexual resource allocation.....	55
3.4.3. Reproductive studies of <i>Gouania cornifolia</i> and its implications for conservation.....	58
3.5 Conclusions.....	59
3.6 Acknowledgements.....	59
3.7 Authors contribution.....	60
REFERENCES.....	60
FIGURES.....	68

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Ilustração botânica de um ramo fértil de *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae). Fonte: Reissek, 1861.....24

Figura 2. Estágios fenológicos de *Ziziphus mauritiana*, *Z. jujuba*, *Z. spina-christi* na parcela experimental da Sede Boqer em Israel. *A dormência no inverno se aplica a *Z. jujuba*, uma espécie decídua (Fonte: Asatryan e Tel-Zur, 2013).....26

Figura 3. Visitantes florais de *Gouania cornifolia* em área de borda de floresta secundária no município de Paragominas, PA. *Apis mellifera* (A); Abelhas sem ferrão (B, C e D); Melipona (E); Euglossini (F); Diptera (G); Vespidae (H).....32

Figura 4. Visitantes florais de *Gouania cornifolia* em área de restauração após a mineração no município de Paragominas, PA. *Apis mellifera* (A); Diptera (Sarcophagidae e Sirphidae) (B, C e D); Vespidae (E, F e G) e Formicidae (H).....32

CAPÍTULO II

Fig. 1 Location Map of the areas of floral biology studies of *Gouania cornifolia* Reissek (Rhamnaceae) in the post-mining restoration of bauxite in the Eastern Amazon, Paragominas municipality, Pará, Brazil.....68

Fig. 2 Study site. (a) Horizontal vision of the restoration area landscape highlighting the vegetation shrub structure, (b) Detail of pioneer habit of the species, covering the soil in bauxite post-mining restoration areas in Brazilian eastern Amazon, (c) Racemiform thyrses composed of small, multi-flowered cymes, (d) *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae) cymes, with inconspicuous light yellow-green bisexual and staminate flowers. Paragominas, Pará, Brazil.....69

Fig. 3 Reproductive phenology of *Gouania cornifolia* in the post-mining restoration area, eastern Amazon, municipality Paragominas, Pará, Brazil. (a) Phenogram of the occurrence of reproductive phenophases during the months of the year 2019, (b) the vegetative phase of the individuals, (c) individuals in flowering season, (d) developing fruits, (e) pre-dispersion, dried and winged fruits.....70

Fig. 4 *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae) plate. (a) multi-flowered cymes, (b) pedicellate flower at the beginning of anthesis, (c) sepal, (d) petals curved over the stamens, (e) bisexual

flower with distended stigma, (f) filantherous stamens, (g) staminate flower in parcial opening, (h) petal curved forming a hood, (i) trilobed stigma, (j) actinomorphic flowers with nectariferous disc at the base of the floral whorl, (k) floral bud. Illustrator: C. Álvares.....71

Fig. 5 Bisexual flowers of *Gouania cornifolia*. (a) and (b) male phase, (c) (d) (e) and (f) female phase of protandric flower, (a) petals and stamens perpendicular to the floral receptacle with exposure of pollen grains, (b) petals at the same level as the sepals, with straightened style and no open stigma lobes; (c) open and receptive stigma lobes, (d) detail of the receptive stigma with pollen grains attached to the tip of the stigma, (e) petals and stamens moved outwards, until they reach the same level as the sepals, making way for pollen deposition during the female phase, (f) stigmatic receptivity verified by the hydrogen peroxide test (presence of bubbles), (g) detail of tricarpelar and trilocular inferior ovary in transversal section, (h) detail of membranous and striate nectariferous disc in longitudinal section of the ovary, (i) detail of tricarpelar and trilocular inferior ovary in longitudinal section. Paragominas, Pará, Brazil.....73

Fig. 6 Staminate flowers of *Gouania cornifolia*. (a-f) Field images of the phenological phases of staminate flowers, (g-l) optical stereo microscope images of flowers preserved in 70% alcohol, (a-c, g-h) beginning of anthesis, (d) petals and stamens in the same level as the sepals, (e-f) senescent flowers, (i) flower in exposing the detail of the vestigial style, (j) senescent flowers, (k-l) frontal and longitudinal section view of the flower to show the presence of staminate flowers with missing vestigial pistil. Paragominas, Pará, Brazil.....75

Fig. 7 The average production of nectar (μ l) and nectar sugar concentration (% brix) in three different floral stages (one, two and three days-old flower) of *Gouania cornifolia*. Paragominas, Pará, Brazil.....76

Fig. 8 Odor glands (osmophores) in *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae) flowers on the first day after anthesis. (a-b) Whole flower and details of the cross section of the whorls showing higher concentration of osmophores in the anthers, stigmas and edges of sepals and petals in bisexual flowers, (c-d) Whole flower and details of the cross section showing higher concentration of osmophores in the anthers and edges of sepals and petals in staminate flower. Paragominas, Pará, Brazil.....77

Biologia floral de uma liana nativa heterodicogâmica, *Gouania cornifolia* Reissek (Rhamnaceae), com potencial para regeneração natural na Amazônia Brasileira

Resumo

Gouania cornifolia Reissek (Rhamnaceae) é uma liana arbustiva nativa da região amazônica, que ocorre naturalmente nas bordas das florestas. Sua biologia floral e polinização são desconhecidas, apesar do grande potencial ecológico, visto que coloniza áreas em condições adversas (altas temperaturas e baixa umidade), e suas sementes são dispersas pelo vento, facilitando a regeneração natural. Este estudo descreve a biologia floral de *G. cornifolia* em populações naturais em áreas de restauração pós-mineração, da Companhia Mineradora de Bauxita Hydro, em Paragominas, nordeste do Estado do Pará, Brasil. Os períodos de floração e frutificação foram monitorados mensalmente durante um ano. A biologia floral e da inflorescência foi estudada em quatro expedições com 10-20 dias (junho/2019 a setembro/2019). A morfologia floral e a biologia floral foram avaliadas em 18 plantas com pelo menos 100 m de distância. Flores marcadas foram observadas desde a pré-antese até a senescência e/ou desenvolvimento inicial dos frutos, a fim de caracterizar longevidade, recursos e atrativos florais, posicionamento de pétalas e sépalas, crescimento de estilete e distensão de lobos estigmáticos. A receptividade do estigma foi avaliada usando o teste de peróxido de hidrogênio, a viabilidade do pólen com o procedimento de Baker, a concentração de açúcar néctar (% brix) e volume (μl) com refratômetro portátil e microcapilares e osmóforos com solução de vermelho neutro. O período de floração estendeu-se em meados maio até setembro. Os frutos começaram a se desenvolver em agosto e as sementes dispersas em outubro e dezembro. As inflorescências são tirso racemiformes terminais com pequenos cimos multifloridos, com diminutas (2-3 mm) flores bissexuais e estaminadas (razão sexual 1:25), amarelo-esverdeadas claras, que duram três a cinco dias, abrindo-se simultaneamente na mesma inflorescência. A população apresentou dimorfismos florais comportamentais temporais, compreendendo dois morfos genéticos, um com abertura das flores por volta das 7:00h (morfo A07) e outro por volta das 11:00h (morfo A11). As flores bissexuais são protândricas e nas plantas A07 liberam o pólen pela manhã, e expõem o estigma à tarde, ao contrário, as plantas A11 liberam pólen à tarde e expõem o estigma na manhã do dia seguinte, quando o estilete já está mais alongado, e com os lobos estigmáticos distendidos e receptivos. No início da antese, em ambos os morfos, as pétalas e os estames ficam perpendiculares ao receptáculo floral e as pétalas recobrem os estames, sem, no entanto, impedir a exposição dos grãos de pólen. Nas plantas A07 e A11, 51 e 68% das flores bissexuais caíram em 44 e 82 horas após a antese, respectivamente, o restante permaneceu por mais de 5 dias, possivelmente desenvolvendo frutos. Da mesma forma, nas plantas A07 e A11, 96 e 88% das flores estaminadas caíram em 63 e 66 horas, respectivamente. Nas flores com um, dois e três dias de vida, o volume de néctar variou de 0,1-1,5 μl com maior produção no primeiro dia, a concentração de açúcar variou de 50-80% e a viabilidade polínica >80%. Os osmóforos estão principalmente nas bordas das pétalas e sépalas. Concluimos que *G. cornifolia* possui uma apresentação floral peculiar, com fácil acesso aos recursos florais, o que facilita a entomofilia; exibe dimorfismo sexual do tipo andromônico; dicogamia do tipo protandria e um fenômeno reprodutivo raro, a heterodicogamia, dimorfismo comportamental temporal em que as suas populações compreendem dois morfos genéticos recíprocos.

Palavras-chave: dimorfismo, andromonoiccia, protandria, dicogamia

Floral biology of a native heterodichogamous liana, *Gouania cornifolia* Reissek (Rhamnaceae), with potential of natural regeneration in the Brazilian Amazon

ABSTRACT

Gouania cornifolia Reissek (Rhamnaceae) is a shrubby liana native to the Amazon Region, which occurs naturally at forests edges. Its floral biology and pollination are still unknown, despite great ecological potential, since it colonizes areas under harsh conditions (high temperatures and low humidity), and its seeds are wind dispersed, facilitating natural regeneration. This study describes the floral biology of *G. cornifolia* in natural population in post-mining restoration areas of *Companhia Mineradora de Bauxita Hydro*, Paragominas, northeast of Pará State, Brazil. Flowering and fruiting periods were monitored monthly during one year. Floral and inflorescence biology were studied in four expeditions with 10-20 days (June/2019 to September/2019). The floral morphology and floral biology were assessed in 18 plants at least 100 m apart. Tagged flowers were observed from pre-anthesis to full senescence and/or initial fruit development, in order to characterize longevity, floral resources and attractants, petals and sepals positioning, style growth and stigmatic lobes distention. Stigma receptivity was evaluated using the rapid drop hydrogen peroxide test, pollen viability with Baker's procedure, nectar sugar concentration (% brix) and volume (μl) with hand-held refractometer and microcapillars, and osmophores with neutral red solution. The flowering period extended from May to mid-September. Fruits began to develop in August, and dispersed seeds in October and November. The inflorescences are terminal racemiform thyrses with small, multi-flowered cymes, and inconspicuous (2 to 3 mm) light yellow-green bisexual and staminate three days long flowers (1:25 sex ratio), opening simultaneously in the same inflorescence. The population showed temporal behavioral floral dimorphisms, comprising two genetic morphs, one with flowers opening around 7:00 am (A07 morph), and other opening around 11:00 am (A11 morph). Bisexual flowers are protandric and in A07 plants sheds pollen in the morning, and the stigma is exposed in the afternoon, conversely, A11 plants sheds pollen in the afternoon and exposes the stigma in the morning of the following day, when it grows, distend the lobes and is reactive to peroxide. At the beginning of anthesis, in both morphs, petals and stamens are perpendicular to the floral receptacle and petals cover the stamens, without, however, preventing the exposure of pollen grains. In A07 and A11 plants, 51 and 68 % bisexual flowers fell within 44 and 82 hours after anthesis, respectively, the rest remained for more than 5 days, possibly developing fruits. Likewise, in A07 and A11 plants, 96 and 88 % staminate flowers fell within 63 and 66 hours, respectively. In flowers with one, two and three days, nectar volume ranged from 0.1 to 1.5 μl with the highest production on the first day, sugar concentration ranged from 50% to 80%, and pollen viability scored > 80%. Osmophores are mainly in the petals and sepals edges, in both morphs. We conclude that *G. cornifolia* presents a peculiar floral display, with easy access to floral resources, which facilitates entomophily; exhibits sexual dimorphism of the andromonoecious type; protandry-type dichogamy, and a rare reproductive phenomenon, heterodichogamy, the temporal behavioral dimorphisms, where populations of the species comprise two reciprocal genetic morphs.

Keywords: dimorphism, andromonoecy, protandry, dichogamy

1. CONTEXTUALIZAÇÃO

A polinização é um serviço ecossistêmico regulatório, de provisão e cultural que consiste na transferência de grãos de pólen das anteras para os estigmas das flores, que pode ocorrer na mesma flor ou em flores diferentes, sendo mediada por um agente abiótico (vento e água) ou biótico (animais) (IPBES, 2016). Dentre esses agentes, são encontrados animais como insetos, aves, mamíferos e lagartos, porém os que têm maior destaque são as abelhas, que constituem cerca de 80% dos polinizadores das plantas utilizadas na nossa alimentação (KLEIN et al., 2007; NUNES-SILVA et al., 2010; WOLOWSKI et al., 2019).

A maioria das Angiospermas possuem flores bissexuais e, para evitar autofecundação, muitas espécies possuem barreiras morfológicas que impedem ou dificultam a auto deposição de pólen no estigma, além de barreiras genéticas, que mesmo que o pólen tenha sido depositado no estigma, evitam a autofertilização por sistemas de auto-incompatibilidade (LLOYD e WEBB, 1986; WEBB e LLOYD, 1986; RENNER, 2001; BARRET, 2002). Dentre os mecanismos com barreira funcional e/ou morfológica à autofecundação, a hercogamia (separação espacial das anteras e do estigma) e a dicogamia (separação temporal da liberação de pólen e receptividade feminina) são as mais frequentes (RENNER, 2001; ENDRESS, 2020).

Dentre as ações antrópicas ao meio ambiente, a mineração se destaca pela atividade de alto impacto deletéria à biodiversidade, causada pela supressão da cobertura florestal devido à remoção do solo a três metros de profundidade para extração do minério, que resulta em um mosaico de fragmentos florestais na paisagem (REZENDE, 2016), ocasionando uma redução na diversidade de plantas e animais e, conseqüentemente um declínio abrupto da população natural de polinizadores (SANTOS et al., 2014). Como consequência disso, há uma redução na disponibilidade de recursos florais, como pólen e néctar que servem de alimento para a maioria dos visitantes florais, bem como a diminuição de locais para construção de ninhos de muitas abelhas, além de dificultar a mobilidade dos polinizadores pela falta de conectividade entre os fragmentos (BIESMEIJER et al., 2006, KREMEN et al., 2007), pois animais menores que voam a pequenas distâncias têm baixa capacidade de dispersão ou de ocupação em ambientes perturbados, resultando assim, na redução da diversidade genética das populações (DIXON et al., 2009). Além disso, as plantas que possuem estratégias mais dependentes da dispersão e fluxo de pólen também são afetadas negativamente, pois a diversidade funcional se torna bastante reduzida (GIRÃO et al., 2007).

A restauração ecológica deve ter como premissa reabilitar uma área antropizada estrutural e funcionalmente, através do restabelecimento dos processos ecológicos e das espécies que auxiliam na recomposição dos ambientes florestais de forma viável e permanente, favorecendo a manutenção e sobrevivência da biodiversidade (Rodrigues et al., 2009). Esses processos, que incluem a polinização e a dispersão de sementes, são fundamentais na recuperação das áreas que passaram por intenso processo de degradação. E, como uma alternativa a restauração ambiental das áreas impactadas, as plantas com flores de sub-bosques representam uma gama de espécies que são muito importantes na conservação da biodiversidade, atraindo muitos polinizadores, os dispersores de sementes, aumentando as interações entre a fauna e flora e fazendo parte dos estágios iniciais das áreas que foram degradadas pela mineração (MARTINIANO, 2004).

Dentre as plantas com flores investigadas nas áreas de restauração após a extração de minério, *Gouania cornifolia* apresenta um grande potencial ecológico, com características que contribuem para o seu desenvolvimento em ambientes em processo de regeneração natural pós-mineração. É uma planta liana, pertencente a família Rhamnaceae, nativa da região Amazônica, Venezuela e Peru, sendo conhecida vulgarmente como “parakauã” e cipó de lavadeira, com ocorrência natural em vegetação aberta (LIMA, 2015) e principalmente em bordas de florestas (LIMA; GIULIETTI, 2005). Além do mais, é comumente encontrada como invasora de pastagem na Amazônia Oriental, sendo esta uma espécie pioneira que ocorre na primeira etapa da sucessão ecológica (DANTAS; RODRIGUES, 1980; CAMARÃO et al., 1990, MASCARENHAS et al., 1999). As plantas do gênero *Gouania* apresentam grande capacidade de adaptação em ambientes com baixa fertilidade natural do solo, elevadas temperaturas e baixa umidade, recobrando toda a camada superficial do solo, sendo suas sementes dispersas facilmente pelo vento (MEDAN & SCHIRAREND, 2004).

As plantas da família Rhamnaceae podem ser fontes de recurso alimentar, como pólen e néctar para atrair muitas abelhas da família Apidae, como uma grande alternativa potencial na atividade apícola que podem contribuir na conservação e manejo entre planta-polinizador (MAIA, 2004; MARINHO et al., 2002, NADIA et al., 2007; SILVA et al., 2012; FERNANDES et al., 2013; DANTAS et al., 2014). Ao mesmo tempo, as suas sementes são geralmente utilizadas na comercialização para fins de áreas degradadas (LIMA, 2000; SILVA et al., 2012).

As flores de Rhamnaceae apresentam uma diversidade de formas sexuais e a maior parte delas evoluíram a partir das flores bissexuadas que desenvolveram diferentes

mecanismos funcionais ou morfológicos para evitar a depressão por endogamia. Dentre elas, a dicogamia do tipo protandria (MEDAN; ARCE, 1999; MEDAN et al., 2015; MEDAN; DEVOTO, 2017) ou protoginia (HALLÉ, 1962), dioicismo (CRUDEN, 1988), hercogamia reversa (MEDAN, 2003; MORAIS et al., 2016), heterodicogamia (D'AMBRÓGIO; MEDAN, 1993; RENNER, 2001; NADIA et al., 2007) e a andromonoiccia (MEDAN; D'AMBRÓSIO, 1998; MORAIS et al., 2016). As poucas espécies investigadas apresentam dependência da polinização cruzada e precisam de um vetor de pólen para mediar a fecundação das flores e, conseqüentemente, auxiliar na produção de frutos, como pode ser encontrado nos estudos sobre *Ziziphus spina-crista* (L.) Willd. (GALIL; ZERONI, 1967), *Colletia paradoxa* (Spreng.) (D'AMBROGIO; MEDAN, 1993), *Trevoa quinquenervia* (Gill. et Hook.) Johnst. (MEDAN; D'AMBROGIO, 1998), *Z. celata* Judd & D. Hall (WEEKLEY; RACE, 2001), *Discaria nana* (Gay) Weberb. (MEDAN, 2003) *Z. joazeiro* Mart. (Nadia et al., 2007) e *Ziziphus mistol* (CERINO et al., 2015).

Os estudos de polinização e biologia floral são muito importantes como base para entender a produção de sementes e frutos e reprodução de diversas plantas, além disso possui um papel fundamental nas áreas em processo de regeneração natural que foram intensamente degradadas, valorizando-se as interações fauna-flora (KEARNS; INOUE, 1993; REIS; KAGEYAMA, 2003; SILVA et al., 2010), uma vez que muitas funções ecológicas são resultantes dessas interações (RODARTE et al., 2008; TYLIANAKIS et al., 2010, VIZENTIN-BUGONI et al., 2018). No entanto, existe uma baixa diversidade de espécies botânicas em áreas de restauração pós-mineração. Além disso, os estudos sobre biologia floral e polinização em áreas degradadas pela extração de minério na região amazônica ainda são escassos na literatura (ALMEIDA et al. 2018). Até o momento não existem pesquisas sobre biologia floral e polinização de *G. cornifolia*, portanto esse trabalho representa o primeiro estudo quanto a sua biologia floral e visitantes florais em áreas mineradas. Dessa forma, é importante considerar o seu papel na restauração das interações ecológicas entre plantas e polinizadores necessárias para uma adequada regeneração florestal (DEVOTO et al., 2012; KAISER-BUNBURY et al., 2017; MONTOYA-PFFEIFER et al., 2018).

Nesse contexto, o presente trabalho faz parte do projeto: “Como as interações ecológicas influenciam as atividades de mineração e seus esforços de restauração ambiental pós-mineração no município de Paragominas, área degradada da Floresta Amazônica Brasileira”, Subprojeto – Polinização, desenvolvido pelo Museu Paraense Emílio Goeldi em parceria com a Companhia Mineradora de Bauxita Norsk Hydro do estado do Pará e a

Universidade de Oslo da Noruega (Consórcio Brasil-Noruega - Biodiversity Research Consortium - BRC), que financiou a pesquisa. O objetivo geral do projeto é determinar o efeito das atividades da mineração sobre as redes de interações entre plantas e animais e dar suporte à Companhia Hydro na escolha das estratégias de compensação e mitigação dos impactos de suas atividades. Com isso, o projeto está dividido em três temas focados nas interações ecológicas, a saber: Polinização, Herbivoria e Dispersão de sementes. Os objetivos específicos para a área de Polinização, na qual este trabalho está inserido são: determinar a estrutura e o grau de integridade da rede planta-polinizador nas áreas de restauração e o papel dos polinizadores no processo de restauração.

Assim, o objetivo desta pesquisa é estudar a biologia floral de *Gouania cornifolia* Reissek (Rhamnaceae) em áreas de regeneração natural pós-mineração de bauxita no município de Paragominas-PA, considerando a peculiaridade do sistema sexual da planta, para subsidiar estudos no âmbito da biologia da polinização e sistema reprodutivo da espécie, considerando seu potencial na restauração de áreas mineradas e de outras áreas que apresentaram intenso processo de degradação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, V. G.; MOURA, E. N.; VIEIRA, G. T.; Espécies vegetais utilizadas em áreas degradadas pela mineração. **Research, Society and Development**, v. 8, n. 3, 2018.

BARRET, S.; The evolution of plant sexual diversity. **Nat Rev Genet**, 3:274–284. 2002.

BIESMEIJER J. C., ROBERTS, S. P. M., REEMER, M., OHLEMÜLLER, R., M. EDWARDS, M., PEETERS, T., SCHAFFERS, A. P., POTTS, S. G., KLEUKERS, R., THOMAS, C. D., SETTELE, J., KUNIN, W. E. Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. **Science**. v. 313, n. 5785, p. 351-354, 2006.

CAMARÃO, A. P.; SIMÃO NETO, M.; SERRÃO, E. D. S.; RODRIGUES, I. A.; LASCANO, C. E. **Identificação e composição química de espécies de invasoras consumidas por bovinos em pastagens cultivadas em Paragominas**, Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1990. 62 p. (Boletim de Pesquisa 104).

CERINO, M. C.; RICHARD, G. A.; TORRETTA, J. P.; GUTIÉRREZ, H. F.; PENSIERO, J. F. Reproductive biology of *Ziziphus mistol* Griseb (Rhamnaceae), a wild fruit tree of saline environments. **Flora-morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 211, p. 18-25, 2015.

CRUDEN, R. W.; Temporal dioecism: systematic breadth, associated traits, and temporal patterns. *Bot Gazette* 149:1–15. 1988.

DANTAS, M.; RODRIGUES, I. A. **Plantas invasoras de pastagens cultivadas na Amazônia**. Belém: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, 1980. 23p. (Embrapa, Boletim de Pesquisa 1).

D'AMBROGIO, A. & MEDAN, D. Comportamiento Reproductivo de *Colletia paradoxa* (Rhamnaceae). **Darwiniana**, v. 32, n. 4, p.1-14, 1993.

DEVOTO, M. et al. Understanding and planning ecological restoration of plant–pollinator networks. **Ecology letters**, v. 15, n. 4, p. 319-328, 2012.

DIXON, M.; METZGER, J. P.; MORGANTE, J. S.; ZAMUDIO, K. R. Habitat fragmentation reduces genetic diversity and connectivity among toad populations in the Brazilian Atlantic Coastal Forest. **Biological Conservation**, v. 142, n. 8, p. 1560-1569, 2009.

ENDRESS, P. K.; Structural and temporal modes of heterodichogamy and similar patterns across angiosperms. **Bot J Linn Soc**, 193:5–18. 2020. doi: 10.1093/botlinnean/boaa001

FERNANDES, E. C.; FERREIRA, A. D. C. L.; ARAÚJO, E. L.; COSTA, E. M.; MOLINARUGAMA, A. J. Insectos visitantes de flores de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) en una región de Caatinga en el Brasil. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 16-20, 2013.

GALIL, J. & ZERONI, M. On the pollination of *Ziziphus spinacrista* (L.) Willd in Israel. **Israel Journal of Botany**, v. 16, n. 2, p. 71-77, 1967.

GIRÃO, L. C., LOPES, A. V., TABARELLI, M., & BRUNA, E. F. Changes in tree reproductive traits reduce functional diversity in fragmented Atlantic Forest landscape. **PLoS One**, v. 2, n. 9, p. e908, 2007.

HALLÉ, N.; Rhamnacées. - In AUBRÉVILLE, A., (Ed.): Flore du Gabon, 4, pp. 49-74. - Paris: Museum Nationale d'Histoire Naturelle. 1962.

IPBES. The assessment report of the Inter-governmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production. POTTS, S. G., IMPERATRIZ-FONSECA V. L., N.; NGO, H. T. (eds). Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn. 502p. 2016.

KAISER-BUNBURY, C. N.; MOUGAL, J.; WHITTINGTON, A. E., VALENTIN, T.; GABRIEL, R.; OLESEN, J. M.; BLÜTHGEN, N. Ecosystem restoration strengthens pollination network resilience and function. **Nature**, v. 542, n. 7640, p. 223-227, 2017.

KEARNS, C. A.; INOUE, D. W. **Techniques for pollination biologists**. University Press of Colorado. 1993, 583p.

KLEIN, A. M., VAISSIÈRE, B. E., CANE, J. H., STEFFAN-DEWENTER, I., CUNNINGHAM, S. A., KREMEN, C., TSCHARNTKE, T. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. **Proceedings of the royal society B: biological sciences**, v. 274, n. 1608, p. 303-313, 2007.

KREMEN, C., WILLIAMS, N. M., AIZEN, M. A., GEMMILLHERREN, B., LEBUHN, G., MINCKLEY, R., PACKER, L., POTTS, S. G., ROULSON, T., STEFFAN-DEWENTER, I.,

VÁZQUEZ, D. P., WINFREE, R., ADAMS, L., CRONE, E. E., GREENLEAF, S. S., KEITT, T. H., KLEIN, A. M., REGETZ, J. & RICKETTS, T. H. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology Letters*, 10: 299-314.2007.

LIMA, R. B. **A família Rhamnaceae no Brasil, taxonomia e diversidade**. 2000. 292 f. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Botânica). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LIMA, R. B.; GIULIETTI, A. M. Rhamnaceae. In: WANDERLEY, M. G. L., SHEPHERD, G. J., MELHEM, T. S., MARTINS, S. E., KIRIZAWA, M., GIULIETTI, A. M. (eds.). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. Instituto de Botânica, São Paulo, vol. 4, p. 331-342, 2005.

LIMA, R. B. 2015. **Rhamnaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em<(http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil /FB207)> Acessado em: 22 fev 2019.

LLOYD, D. C.; WEBB, C. J.; The avoidance of interference between the presentation of pollen and stigmas in angiosperms I. Dichogamy, **N Z J Bot**, 24:135-162, 1986.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413 p.

MARINHO, I.V.; FREITAS, M. F.; ZANELLA, F. C. V.; CALDAS, A. L. Espécies vegetais da caatinga utilizadas pelas abelhas indígenas sem ferrão como fonte de recursos e local de nidificação. In: **Anais I Congresso Brasileiro de Extensão Universitária**. João Pessoa. 2002.

MARTINIANO, T. M.; **Biologia floral e recursos oferecidos por espécies de sub-bosque em um fragmento florestal urbano no município de Manaus-AM**. IMPA/UFA. p. 125. 2004.

MASCARENHAS, R. E.; MODESTO JÚNIOR, M. D. S.; DUTRA, S.; SOUZA FILHO, A. P. D. S.; TEIXEIRA NETO, J. F. Plantas daninhas de uma pastagem cultivada de baixa produtividade no nordeste paraense. **Planta daninha**, v. 17, n. 3, p. 399-418. 1999.

MEDAN, D. & D'AMBROGIO, A. Reproductive biology of the andromonoecious shrub *Trevoa quinquenervia* (Rhamnaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 126, n. 3, p. 191-206, 1998.

MEDAN, D.; ARCE, M. E. Reproductive biology of the Andean-disjunct genus *Retanilla* (Rhamnaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 218, n. 3-4, p. 281-298, 1999.

MEDAN, D. Reproductive biology of the Andean shrub *Discaria nana* (Rhamnaceae). **Plant Biology**, v. 5, n. 1, p. 94-102, 2003.

MEDAN, D.; SCHIRAREND C. Rhamnaceae. In: Kubitzki (ed) **The families and genera of vascular plants VI. Flowering plants — Dicotyledons: Celastrales, Oxalidales, Rosales, Cornales, Ericales**. Springer Verlag, Heidelberg, p. 320–338. 2004.

MEDAN, D.; CASTILLO-CAMPOS, G.; ZARLAVSKY, G. Floral biology of *Adolphia infesta* and the reproductive profile of Colletieae (Rhamnaceae). **Journal of Pollination Ecology**, v. 16, n. 12, p. 82-90, 2015.

MEDAN, D.; DEVOTO, M. Ambophily, not entomophily: the reproduction of the perennial *Discaria chacaye* (Rhamnaceae: Colletieae) along a rainfall gradient in Patagonia, Argentina. **Plant Systematics and Evolution**, v. 303, n. 7, p. 841-851, 2017.

MONTOYA-PFEIFFER, P. M.; RODRIGUES, R. R.; METZGER, J. P.; DA SILVA, C. I.; SANTOS BAQUERO, O.; ALVES DOS SANTOS, I. Are the assemblages of tree pollination modes being recovered by tropical forest restoration? **Applied Vegetation Science**, v. 21, n. 1, p. 156-163, 2018.

MORAIS, D. J. G.; FREITAS, G. P.; FERREIRA, B. H. S.; SOUZA, C. S.; SIGRIST, M. R. *Gouania lupuloides* (Rhamnaceae) em remanescente urbano de Cerrado: andromonoiccia e polinização generalista. In: **IX Encontro de Botânicos do Centro-oeste**, Sinop-MT. 2016.

NADIA, T. C., MACHADO, I. C., LOPES, A. V. Fenologia reprodutiva e sistema de polinização de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae): atuação de *Apis mellifera* e de visitantes florais autóctones como polinizadores. **Acta Botânica Brasileira**, v. 21, n. 4, p. 835-845, 2007.

NUNES-SILVA, P.; HRNCIR, M.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L.; A polinização por vibração. **Oecologia Australis**, v. 14, n. 1, p. 140-151, 2010.

REIS, A.; KAGEYAMA, P. Y. Restauração de áreas degradadas utilizando interações interespecíficas. In: KAGEYAMA, P. Y.; OLIVEIRA, R. E.; MORAES, L. F. D.; ENGEL, V. L.; GANDARA, F. B. **Restauração Ecológica de Ecossistemas Naturais**. Botucatu: FEPAF. p. 91-110, 2003.

RENNER, S. S. 2001. How common is heterodichogamy? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 11, p. 595-597, 2001.

REZENDE, V. L.; A mineração em Minas Gerais: uma análise de sua expansão e os impactos ambientais e sociais causados por décadas de exploração. **Sociedade e Natureza**, n. 28, v. 3, p. 375-384, 2016.

RODARTE, A.T.A.; SILVA, F.O.; VIANA, B. F. A flora melitófila de uma área de dunas com vegetação de caatinga, Estado da Bahia, Nordeste do Brasil. **Acta Botânica Brasileira**, v. 22, n. 2, p. 301-312, 2008.

SANTOS, I. A.; AIZEN, M.; SILVA, C. I. Conservação dos polinizadores. In: RECH, A. R.; AGOSTINI, K., OLIVEIRA, P. E., MACHADO, I. C. (Orgs.); **Biologia da Polinização**. 1. ed., Rio de Janeiro: Projeto Cultural, 2014. cap. 21. p. 461-477.

SILVA, C. I.; BALLESTEROS, P. L. O.; PALMERO, M. A.; BAUERMANN, S. G.; EVALDIT, A. C. P.; OLIVEIRA, P. E. A. M. **Catálogo Polínico – Palinologia aplicada em estudos de conservação de abelhas do gênero *Xylocopa***. EDUFU, 154 p. 2010.

SILVA, C. M.; SILVA, C. I.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia de plantas visitadas por abelhas na Caatinga**. 1 ed. Fortaleza, CE. Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012.

TYLIANAKIS, J. M.; LALIBERTÉ, E.; NIELSEN, A.; BASCOMPTE, J. Conservation of species interaction networks. **Biological Conservation**, v. 143, n. 10, p. 2270–2279, 2010.

VIZENTIN-BUGONI, J.; MARUYAMA, P. K.; SOUZA, C. S.; OLLERTON, J.; RECH, A. R.; SAZIMA, M. **Plant-pollinator networks in the tropics: a review**. In *Ecological networks in the tropics* (p. 73-91). Springer, Cham. 2018.

WEBB, C. J.; DAVID, G. L.; The avoidance of interference between the presentation of pollen and stigmas in angiosperms II. Herkogamy, **N Z J Bot**, 24:1,163-178, 1986. DOI: 10.1080/0028825X.1986.10409726.

WEECKLEY, C. W.; RACE, T. The breeding system of *Ziziphus celata* Judd and D. W. Hall (Rhamnaceae), a rare endemic plant of the Lake Wales Ridge, Florida, USA: Implications for recovery. **Biology Conservation**, v. 100, n. 2, p. 207-213, 2001.

WOLOWSKI, M.; AGOSTINI, K.; RECH, A. R.; VARASSIN, I. G.; MAUÉS, M.; FREITAS, L.; CARNEIRO, L. T.; BUENO, R. O.; CONSOLARO, H.; CARVALHEIRO, L. SARAIVA, A. M.; SILVA, C. I. Plataforma Brasileira de Biodiversidades e Serviços Ecosistêmicos. Sumário para tomadores de decisão: 1º Relatório temático sobre polinização, polinizadores e produção de alimentos no Brasil. Editora Cubos: São Carlos-SP 2019. 180p.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Classificação botânica de *Gouania cornifolia* Reissek

Segundo a classificação taxonômica internacional, *Gouania cornifolia* pode ser classificada da seguinte forma (REISSEK, 1861):

Reino: Plantae

Divisão: Tracheophyta

Classe: Magnoliopsida

Ordem: Rosales

Família: Rhamnaceae

Tribo: Gouanieae

Gênero: *Gouania*

Espécie: *Gouania cornifolia*

A família Rhamnaceae possui cerca de 58 gêneros e 900 espécies de árvores, arbustos e lianas fanerógamas, apresentando uma ampla distribuição geográfica, em áreas de clima temperado, subtropical e principalmente nas regiões tropicais (JOLY, 1998; HEALD, 2004). No Brasil, existem 14 gêneros e 47 espécies encontradas em diferentes habitats, a maioria em matas, caatinga e restinga (LIMA; GIULLIETI, 2005).

As plantas do gênero *Gouania* são representadas por cerca de 60 espécies, que se distribuem em áreas tropicais e subtropicais, com ampla ocorrência principalmente nas áreas de bordas de floresta (LIMA; GIULLIETI, 2005). Entre elas, a espécie *Gouania cornifolia* que foi descrita por Reissek em 1861, uma planta nativa da região amazônica, conhecida vulgarmente como erva-de-lavadeira e na linguagem tupi-guarani pelos índios como “parakauã”, estende-se em toda a Amazônia brasileira, desde os estados do Amazonas até o Pará e ocorre naturalmente em vegetação de floresta ciliar ou galeria, floresta de terra firme e floresta ombrófila ou pluvial (LIMA, 2015).

É uma liana herbácea sarmentosa, possui ramos cilíndricos e glabrescentes, com presença de gavinhas circinadas. As folhas são alternas, pecioladas, de forma oval, arredondada na parte inferior e estreitamente elíptica na parte superior, com alongamento na borda da base, margem inteira, textura cartácea e nervação actinódroma (LIMA; GIULLIETI, 2005, REISSEK, 1861).

As flores são pequenas de coloração amareladas a esverdeadas, possuem corola curta e estão agregadas em inflorescências, nas quais são dispostas em fascículos ao longo de um eixo axilar ou terminal. São bissexuadas e masculinas na mesma inflorescência, com sépalas pentâmeras, às vezes eretas; pétalas convolutas ou cuculadas, com disco nectarífero glabro que circunda o gineceu, pubescente na margem proximal, lobado na margem distal. O ovário é ínfero, tricarpelar, trilocular e possui três estiletos glabros parcialmente unidos (REISSEK, 1861; LIMA; GIULIETTI, 2005).

Os frutos são simples e secos de coloração verde, indeiscentes do tipo esquizocárpico tomentoso, derivado de gineceu sincárpico e quando maduros os carpelos separam-se naturalmente em mericarpos (frutículos) livres. As sementes possuem forma elíptica de coloração castanha, sendo dispersas facilmente pelo vento (MEDAN; SCHIRAREND, 2004).

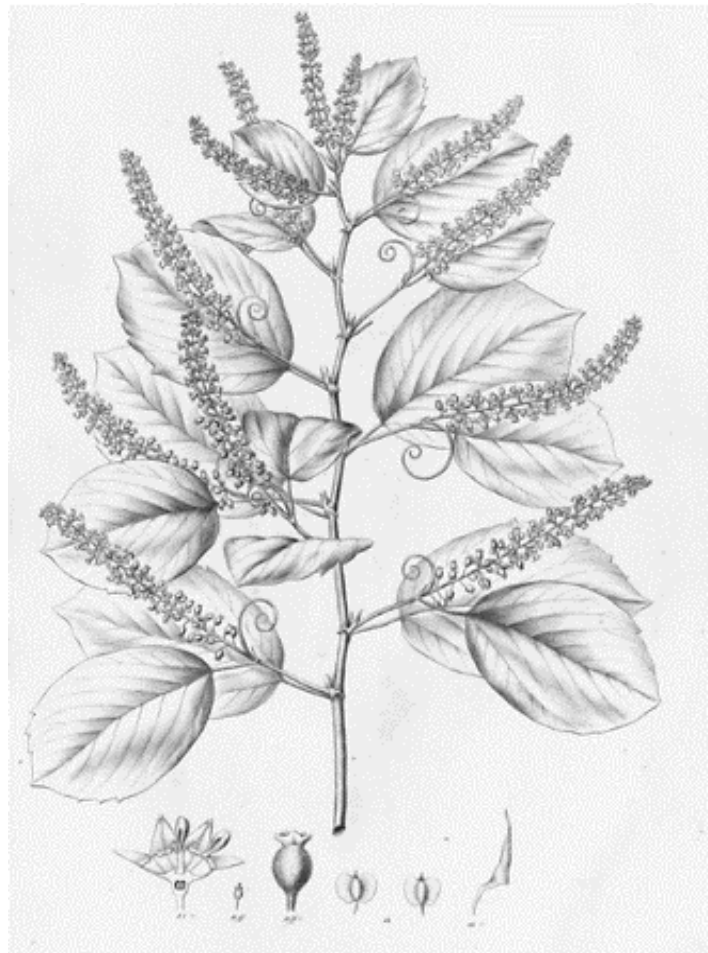


Figura 1. Ilustração botânica de um ramo fértil de *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae). Fonte: Reissek, 1861

2.2 Fenologia de Floração em Rhamnaceae

De acordo com o detalhamento dos registros de ocorrência nos herbários do Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira - SiBBR (2020), as plantas de *Gouania cornifolia* foram coletadas amostras férteis geralmente no período menos chuvoso do ano, entre os meses de julho e novembro, estendendo-se até janeiro, com maior ocorrência nos meses de setembro e outubro. No entanto, a fenologia dos membros da família Rhamnaceae ainda é pouco estudada na Amazônia Oriental.

Em um estudo realizado no Brasil por Nadia et al., (2007) no bioma Caatinga sobre fenologia reprodutiva de plantas dessa família, o período de floração em *Ziziphus joazeiro* Mart. iniciou no fim da estação seca, em novembro, com maior pico no mês de dezembro e enquanto um indivíduo inteiro apresentou flores na fase masculina, havia outro indivíduo com todas as flores na fase feminina no mesmo horário, prolongando-se com baixa intensidade até o mês de junho, o que coincide com a estação mais chuvosa no nordeste. A maturação dos frutos iniciou em dezembro, com maior frutificação, entre fevereiro e maio. Na Argentina, os eventos de floração e frutificação também foram semelhantes em ramnáceas da espécie *Discaria chacaye* (G. Don) Tortosa, uma vez que o florescimento se estendeu de novembro a março, com maior intensidade entre dezembro e janeiro, porém as fenofases foram diferentes entre os indivíduos, ou seja, enquanto haviam plantas com as primeiras flores abrindo, em outras os frutos já estavam amadurecendo (MEDAN; DEVOTO, 2017). A floração também não foi simultânea entre os indivíduos de *D. nana* (Gay) Weberb. (MEDAN, 2003), *Colletia hystrix* (Clos.) (MEDAN & TORRETA., 2015) e *Kentrothamnus weddellianus* (Miers) Johnst. (MEDAN et al., 2013). Contudo, Cerino et al., (2015) verificaram em uma população natural de *Z. mistol* Griseb. na Argentina, que a floração iniciou na última semana de setembro e prolongou-se até a segunda semana de dezembro, sendo a duração média de floração de $47 \pm 3,5$ dias, apresentando alta sincronia entre os indivíduos. Em contrapartida, em estudo realizado por Asatryan e Tel-Zur (2013), sobre os estágios fenológicos de três espécies do gênero *Ziziphus* (*Z. jujuba* Mill., *Z. mauritiana* Lam., *Z. spinachristi* (L.) Willd.) sob condições de cultivo predominantes no deserto de Negev, em Israel, os padrões de floração foram semelhantes entre as espécies mostrando uma sobreposição do florescimento no mês de junho (Figura 2).

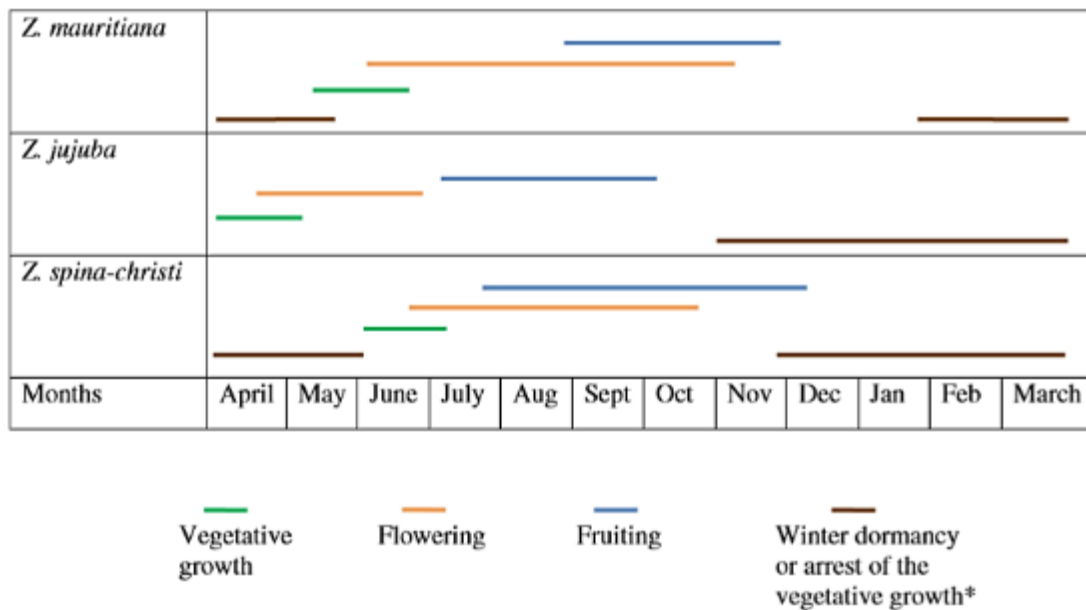


Figura 2. Estágios fenológicos de *Ziziphus mauritiana*, *Z. jujuba*, *Z. spina-christi* na parcela experimental da Sede Boqer, em Israel. *A dormência no inverno se aplica a *Z. jujuba*, uma espécie decídua (Fonte: Asatryan e Tel-Zur, 2013).

No Chile, o florescimento de *Retanilla* ocorre desde o início da primavera até o início do verão e a frutificação foi observada nos meses de outubro a fevereiro, no qual as flores de *R. trinervia* (Gill. et Hook.) Hook, et Arn., *R. ephedra* (Vent.) Brongn. e *R. patagonica* (Speg.) Tortosa apresentaram um pico em setembro, seguido por um segundo pico em novembro (MEDAN; ARCE, 1999). Na Índia, de acordo com Devi et al., (1989), as plantas de *Z. mauritiana* também obteve dois picos definidos de florescimento, porém com duas estações durante um ano: a primeira fase foi a mais longa, nos meses de setembro a janeiro [95-130 ($x = 115$) dias], com um pico de 30-45 ($x = 38$) dias e a segunda estação de floração, entre março e junho 66-98 ($x = 83$) dias, com um período de pico de 10 a 29 ($x = 18$) dias. Para Medan (1994), ao estudar a biologia reprodutiva e fenologia das flores de *Frangula alnus* P. Mill. na Espanha, o período de floração ocorreu no meio da primavera, na segunda semana de maio e durou cerca de 55 dias, enquanto os primeiros frutos começaram a se desenvolver no final de maio, estendendo-se até o final do verão, entre junho e meados de agosto.

2.3 Importância da família Rhamnaceae

Dentre o gênero de *Gouania*, atualmente há um volume maior de pesquisas sobre a espécie *G. ulmifolia* Hook & Arnott, devido as suas propriedades medicinais e utilização no

tratamento de doenças infecciosas (GIACOMELLI, 2005; GIOVANNINI et al., 2016; CHINSEMBU, 2019). Outros estudos constataram que as plantas de *G. cornifolia* apresentam potencial invasivo nas áreas de pastagens na Amazônia, com grande capacidade de crescimento e dispersão (DANTAS; RODRIGUES, 1980; CAMARÃO et al., 1990, MASCARENHAS et al., 1999). No entanto, o único estudo realizado em plantas desse gênero quanto a biologia floral e polinização é sobre *G. lupuloides* L. (Urb.) que apresenta grande importância ecológica, na atratividade de insetos polinizadores em um remanescente urbano na região do Cerrado Brasileiro (MORAIS et al., 2016).

Em um estudo realizado por Marinho et al., (2002) com o juazeiro (*Z. joazeiro*), espécie de Rhamnaceae mais estudada da Caatinga (MAIA, 2004; NADIA et al., 2007; SILVA et al., 2012; FERNANDES et al., 2013; DANTAS et al., 2014), constatou-se que essa planta é excelente fonte de recurso alimentar, pólen e néctar, atraindo alta diversidade de abelhas da família Apidae, sendo esta uma alternativa potencial na atividade apícola que pode contribuir na conservação e manejo entre planta-polinizador. Segundo Barros et al., (1991) as folhas de *Z. joazeiro* também podem ser utilizadas na alimentação de caprinos e ovinos, como uma alternativa fundamental na manutenção dos animais durante a época seca no Nordeste, e seus frutos são usados na alimentação humana, apresentando grande importância econômica, bem como *Z. jujuba*, *Z. mauritiana*, *Condalia hookeri* M. C. Johnst., *C. microphylla* Cav., *C. buxifolia* Reissek, *Rhammus caroliniana* Walt. (ARNDT et al., 2001; MAIA, 2004; SOUZA; LORENZI, 2005).

As plantas da família Rhamnaceae também são muito importantes na medicina popular, sendo utilizada nos cuidados com a febre, inflamações e distúrbios gastrintestinais (RODRIGUES, 2006), infecções bacterianas (DAHMER et al., 2019), prevenção da malária, diabete e anemia, entre outros problemas (SANTOS et al., 2005; Andrade-Neto et al., 2008; Oliveira et al., 2011). Além da utilização medicinal e econômica desta família, também existem outros usos constituindo fonte de renda fundamentais, como na produção de carvão e lenha (*Z. joazeiro*) fabricação de corantes (*R. tinctoria* L., *R. dahurica* Pall.), lavagens de tecidos (*D. chacaye*, *D. trinervis* (Gillies ex Hook. & Arn.) Reiche, *Reissekia smilacina* Endl. e *Z. joazeiro*) preparação de bebidas fermentadas (*R. inebrians* R. Br., *C. buxifolia*) forragem para gado (*Trevoa quinquenervia* (Gill. et Hook.) Johnst., *D. chacaye*, *D. trinervis* e *C. buxifolia*) e ornamentação na marcenaria (*Colubrina glandulosa* Perkins) (CARVALHO, 2007; SOUZA; LORENZI, 2005).

As sementes são geralmente comercializadas para fins de recuperação de áreas degradadas, como é o caso das espécies *C. glandulosa*, *Rhamnidium elaeocarpum* Reissek, *C. paradoxa* (Spreng.), *Ampelozizyphus amazonicus* Ducke. Além disso, são amplamente cultivadas em ornamentações de áreas urbanas, como a *Hovenia dulcis* Thunb., *Paliurus*, *Rhamnus* e *Z. joazeiro* (LIMA, 2000; SILVA et al., 2012).

2.4 Biologia Floral e Polinização em Rhamnaceae

As flores de *Gouania* possuem tamanho muito pequeno e estão agrupadas em inflorescências racemosas axiais ou terminais. As peças florais são dispostas em círculos concêntricos no receptáculo, formando os verticilos. Apresentam flores geralmente bissexuais, são actinomorfas, pediceladas, com sépalas e pétalas pentâmeras, pubescentes nas margens, homodínamas, isostêmone, com estames opostos as pétalas, estigma trifido, glabro, ovário ínfero e disco nectarífero glabro (LIMA; GIULIETTI, 2005; LIMA, 2015).

Medan e D'Ambrósio (1998), ao estudar a biologia reprodutiva de *T. quinquenervia* em uma vegetação natural no Chile, constataram o caráter andromonóico na espécie, caracterizado pela presença de dois morfos florais, bissexuais e masculina, com apenas 10% de flores estaminadas. Em uma pesquisa realizada por Morais et al., (2016) em remanescente de cerrado no Mato Grosso do Sul, também verificou-se maior presença das flores bissexuais (82%) do que flores masculinas (18%), o que caracteriza uma fraca andromonoiccia em plantas de *G. lupuloides*.

Em um estudo realizado por Nadia et al., (2007) descrevendo a fenologia reprodutiva, biologia floral e o sistema de polinização de *Z. joazeiro* na Caatinga, a andromonoiccia não foi registrada, constatando-se apenas flores bissexuadas que por sua vez, possui protandria associada a outro tipo de dicogamia, a heterodicogamia, na qual as flores possuem diferentes horários de antese entre os indivíduos da mesma população, o que dificulta o mecanismo de autocompatibilidade (Figura 03). Outros estudos também evidenciam essas características em plantas de *Z. jujuba* e *Z. mauritiana* (DEVI et al., 1989; RENNEN et al., 2001; TELZUR; SCHNEIDER, 2009) e *Z. mistol* (CERINO et al., 2015).

A maioria das plantas de Rhamnaceae são auto-incompatíveis e dependem da polinização cruzada para produção de frutos e sementes, necessitando de um agente polinizador para efetuar a transferência dos grãos de pólen de uma flor para outra. Além disso, as flores desta família apresentam pólen e néctar como principais recursos florais e

em alguns casos exalam odor desagradável ao longo do dia, favorecendo a presença de vários visitantes florais, que podem atuar como potenciais polinizadores, por exemplo em *C. paradoxa* (D'AMBROGIO; MEDAN, 1993), *T. quinquenervia* (MEDAN; D'AMBROGIO, 1998), *Z. celata* Judd & D.W. Hall (WEEKLEY; RACE, 2001), *D. nana* (MEDAN, 2003), *Adolphia infesta* (Kunth) Meisn. (MEDAN et al., 2015) e *D. chacaye* (MEDAN; DEVOTO., 2017). Embora, a alogamia seja predominante na família, pesquisas realizadas sobre a biologia reprodutiva em *Z. joazeiro* (PINHEIRO et al., 1991), *T. quinquenervia* (MEDAN; D'AMBRÓSIO, 1998), *R. trinervia*, *R. ephedra* e *R. patagonica* (MEDAN; ARCE, 1999), *K. weddellianus* (MEDAN et al., 2013) e *G. lupuloides* (MORAIS et al., 2016) também constatarem o sistema de autocompatibilidade, uma vez que as características florais não impedem completamente a autopolinização, mesmo que seja em baixo nível.

Estudos prévios têm demonstrado que a polinização em Rhamnaceae geralmente é entomófila, sendo as flores visitadas por diversos insetos, tais como: abelhas, moscas, vespas, besouros e borboletas durante o período diurno (MEDAN, 1991; MEDAN; TORRETA, 2015; NADIA et al., 2007). Resultados encontrados por Fernandes et al., (2013), em uma vegetação aberta na Caatinga, constatarem uma grande diversidade de visitantes florais em plantas de *Z. joazeiro*, porém as abelhas *Apis mellifera* e as vespas foram consideradas as potenciais polinizadoras. Para Pinheiro et al., (1991), no qual avaliou-se a frequência de polinizadores em áreas intensamente degradadas, as abelhas *A. mellifera* também apresentaram uma grande visitação nas flores e foram classificadas como as principais polinizadoras. De acordo com Medan et al., (2015), em um estudo realizado em uma paisagem cultivada com pequenas parcelas e fragmentos de habitats naturais no México, as abelhas *A. mellifera* e dípteros são os polinizadores mais efetivos nas flores de *A. infesta*. Esses resultados indicam a facilidade com que as abelhas africanizadas adaptam-se a vários locais da região, que pode ser, em parte, explicado por seu comportamento generalista, alta densidade populacional e baixa demanda na seleção de locais de nidificação (ROUBIK, 1989). Em contrapartida, no levantamento feito por Marinho et al., (2002), outros grupos de abelhas pertencente a tribo Meliponini, apresentaram uma grande visitação na região semiárida do nordeste brasileiro. Estudos realizados em áreas de vegetação natural na Argentina e na Espanha revelam que as moscas são os principais grupos de visitantes florais que podem estar contribuindo com a polinização, uma vez que os dípteros foram atraídos provavelmente pelo mal odor nas flores de *C. paradoxa* (D'AMBROGIO; MEDAN, 1993), *F. alnus* (MEDAN, 1994) e *D. nana* (MEDAN, 2003). No entanto, a ornitofilia também foi

observada em plantas de *C. ulicina* Gillies & Hook, que se trata da polinização por pássaros, como por exemplo, recebendo a visitação de beija flores (MEDAN; MONTALDO, 2005). Além disso, o sistema de polinização pela ação do vento (anemofilia), também foi verificada em flores de *D. trinervis* (MEDAN; DEVOTO, 2005) e *D. chacaye* (MEDAN; DEVOTO, 2017).

Os estudos sobre biologia floral de *G. cornifolia* serão apresentados detalhadamente no Capítulo II desta dissertação.

2.5 Visitantes florais de *Gouania cornifolia* Reissek (Dados que irão compor o segundo artigo desta dissertação – em preparação)

Foram realizadas as observações diretas do comportamento dos visitantes nas flores de *G. cornifolia* juntamente com registros fotográficos para avaliar o recurso floral coletado, a frequência e o período de visitas (durante dez minutos de observação e dez minutos de coletas) em quatro horários diferentes ao longo do dia, durante o primeiro, segundo e terceiro dia após a antese (11:00, 13:00, 15:00, 17:00).

O levantamento de insetos foi realizado em três plantas em cada área, sendo três áreas de restauração pós-mineração e três áreas de borda de floresta na Companhia mineradora de bauxita Hydro, em Paragominas, PA, com uma distância mínima de 100 metros entre as plantas avaliadas. Os espécimes amostrados foram depositados individualmente em frascos Eppendorf e mortos por submersão em álcool 70% (Sakagami et al., 1967; Zanella et al., 1998; Krug; Santos, 2008). Vale ressaltar que todas as coletas foram realizadas evitando-se os dias de chuvas, em tempo seco e ensolarado.

Todos os insetos foram coletados durante visita às flores, colocados individualmente em frascos Eppendorf com álcool 70% e encaminhados para o Laboratório de Entomologia da Embrapa Amazônia Oriental, onde foram mantidos em freezer, triados, montados com alfinete entomológico, secos em estufa a 40° C por 48 a 72h horas, etiquetados e quantificados. Em seguida foram encaminhados aos especialistas da Coleção Entomológica do Museu Paraense Emílio Goeldi (MPEG), em Belém, PA, para identificação no menor nível taxonômico possível, processo que está sendo realizado com auxílio de chaves de identificação e consulta às coleções. Devido às restrições impostas pela pandemia de COVID-19, alguns grupos taxonômicos ainda não foram identificados.

De acordo com as observações dos visitantes florais de *G. cornifolia*, foi registrada um grande número de insetos pertencentes aos seguintes grupos: abelhas, vespas, moscas, besouros e formigas. Esses insetos foram atraídos pelos recursos oferecidos nas flores, principalmente o néctar, recurso floral que exerceu maior atração. Nos indivíduos em que as flores iniciam a antese por volta de 7:00 horas, a visitação dos insetos começaram a partir de 9:00h e aumentaram entre 10:00h e 13:00h. Nos indivíduos em antese às 11:00 h, as primeiras visitas iniciaram por volta de 12:00h, intensificando-se ao longo do dia, com período de maior atividade entre 13:00h e 16:00h. Após o segundo dia de antese, as visitas começaram a diminuir, ao mesmo tempo que registrou-se uma redução acentuada na disponibilidade de pólen e néctar, porém até o terceiro dia ainda se observaram visitantes nas flores.

O número de visitantes florais (N=1314) e riqueza de espécies (N= 68) em áreas de bordas de florestas foram maiores do que nas áreas de restauração (1201 indivíduos e 41 espécies), com destaque para as abelhas *Apis mellifera* (N=308) e abelhas sem ferrão (N=256: *Trigona pallens* N=93, *Nannotrigona dutae* N=45, *Frieseomelitta* sp.1 N=28, *Melipona flavolineata* N=16). As outras espécies de abelhas da Família Apidae apresentaram N=241 indivíduos, enquanto as moscas (Diptera N=106), formigas (Hymenoptera: Formicidae N=227), vespas (Hymenoptera: Vespidae N=90), e os besouros (Coleoptera: Chrysomelidae N=15) (Anexo1 e Figura 3)

Nas áreas de restauração pós-mineração, as abelhas *A. mellifera* (n= 506) dominaram o número de visitas nas flores. Depois das abelhas, as moscas (Diptera: N= 157) constituíram o segundo grupo mais abundante, com maior visitação dos insetos pertencentes à família Sarcophagidae N=122, Sirphidae N=18 e Muscidae=10. Já as vespas da família Vespidae apresentaram N= 138 indivíduos, com destaque para *Agelaia pallipes* N=39, *Polybia sericea* N=21, *P. rejecta* N=17, enquanto as formigas foram registrados N=115 indivíduos (Formicidae) e os besouros foram encontrados apenas 20 indivíduos visitando as flores pertencente à família Chrysomelidae (*Trichaltica* sp.) (Anexo 1 e Figura 4).

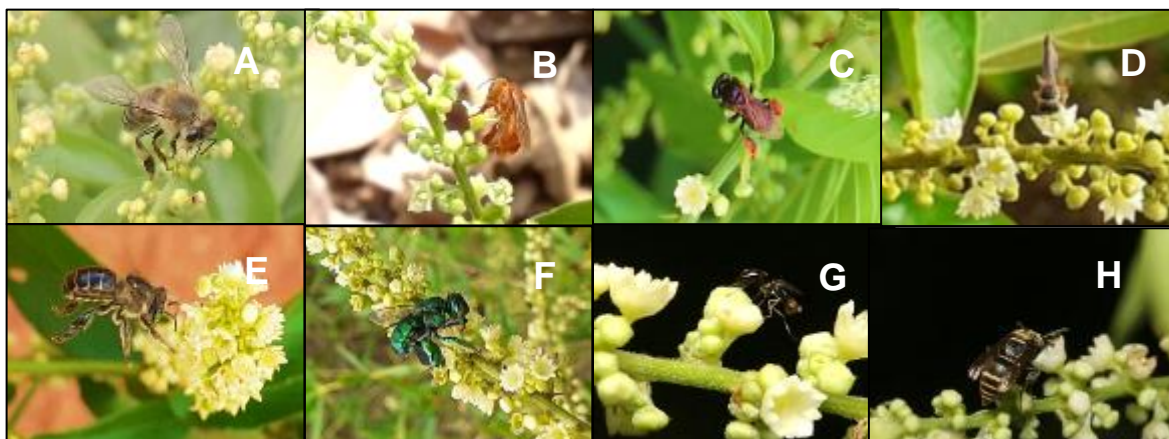


Figura 3. Visitantes florais de *Gouania cornifolia* em área de borda de floresta secundária no município de Paragominas, PA. *Apis mellifera* (A); Abelhas sem ferrão (B, C, D), *Melipona* (E), Euglossini (F), Diptera (G), Vespidae (H).

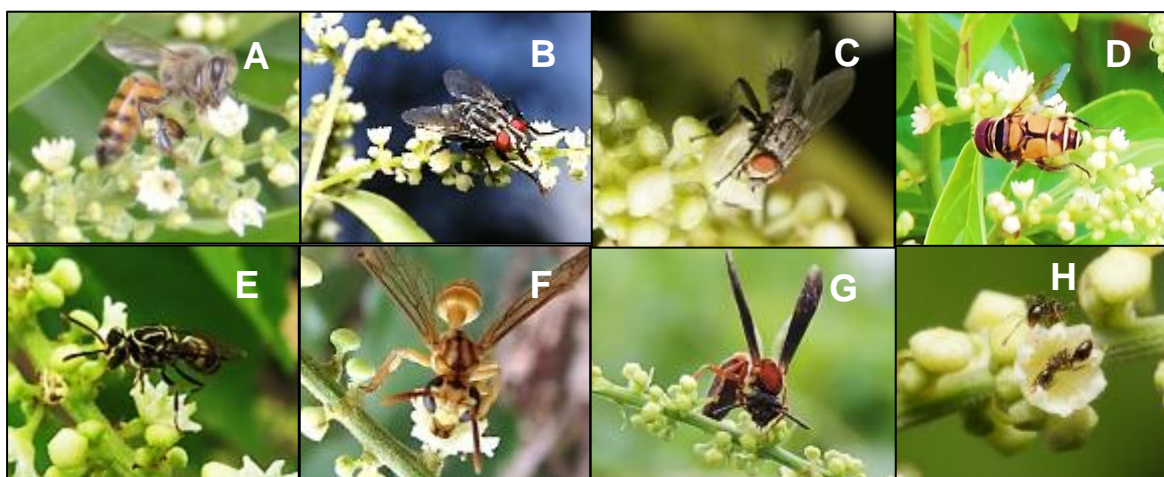


Figura 4. Visitantes florais de *Gouania cornifolia* em área de restauração após a mineração no município de Paragominas, PA. *Apis mellifera* (A); Diptera (Sarcophagidae e Sirphidae) (B, C, D); Vespidae (E, F, G) e Formicidae (H).

REFERÊNCIAS

ANDRADE-NETO, V. F.; BRANDÃO, M. G. L.; NOGUEIRA, F.; ROSÁRIO, V. E.; KRETTLI, A. U. *Ampeloziziphus amazonicus* Ducke (Rhamnaceae), a medicinal plant used to prevent malária in the amazon Region, hampers the development of *Plasmodium berghei* sporozoites. **International Journal for Parasitology**, v. 38, n. 13, p. 1505-1511, 2008.

ARNDT, S. K.; CLIFFORD, S. C.; POPP, M. *Ziziphus* - A multipurpose fruit tree in arid regions. In: BRECKLE, S. W., VESTE, M., WUCHERER, W. (eds) **Sustainable land-use in deserts**. Springer, New York, p. 388–399. 2001.

ASATRYAN, A.; TEL-ZUR, N. Pollen tube growth and self-incompatibility in three *Zizyphus* species (Rhamnaceae). **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 208, n. 5-6, p. 390-399, 2013.

BARROS, N. N.; FREIRE, L. C. L.; LOPES, E. A.; JOHNSON, W. L. Valor nutritivo do feno de juazeiro (*Zizyphus joazeiro*) para caprinos e ovinos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 26, n. 8, p. 1299-1304. 1991.

CAMARÃO, A. P.; SIMÃO NETO, M.; SERRÃO, E. D. S.; RODRIGUES, I. A.; LASCANO, C. E. **Identificação e composição química de espécies de invasoras consumidas por bovinos em pastagens cultivadas em Paragominas**, Pará. Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1990 62 p. (Boletim de Pesquisa 104).

CARVALHO, P. E. R. Juazeiro *Zizyphus joazeiro*: Taxonomia e Nomeclatura. Paraná: Embrapa, 2007, 8 p. (Circular Técnica, 139).

CERINO, M. C.; RICHARD, G. A.; TORRETTA, J. P.; GUTIÉRREZ, H. F.; PENSIERO, J. F. Reproductive biology of *Zizyphus mistol* Griseb (Rhamnaceae), a wild fruit tree of saline environments. **Flora-morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 211, p. 18-25, 2015.

CHINSEMBU, K. C. Diabetes mellitus and nature's pharmacy of putative antidiabetic plants. **Journal of herbal medicine**, v. 15, 100230. 2019.

DANTAS, M.; RODRIGUES, I. A. **Plantas invasoras de pastagens cultivadas na Amazônia**. Belém: Centro de Pesquisa Agropecuária do Trópico Úmido, 1980. 23p. (Embrapa, Boletim de Pesquisa 1)

DANTAS, F. C. P.; TAVARES, M. L. R.; TARGINO, M. D. S.; COSTA, A. D.; DANTAS, F. O. *Zizyphus joazeiro* Mart.- Rhamnaceae: características biogeoquímicas e importância no bioma Caatinga. **Revista Principia**, v. 2, n. 25, p. 51-57. 2014.

DAHMER, J.; DO CARMO, G.; MOSTARDEIRO, M. A.; NETO, A. T.; DA SILVA, U. F.; DALCOL, I. I.; MOREL, A. F. Antibacterial activity of *Discaria americana* Gillies ex Hook (Rhamnaceae). **Journal of ethnopharmacology**, v. 239, p. 111-635. 2019.

DEVI, K. R.; ATLURI, J. B.; REDDI, C. S.; Pollination ecology of *Zizyphus mauritiana* (Rhamnaceae). **Proceedings: Plant Sciences**, v. 99, n. 3, p. 223-239, 1989.

GIOVANNINI, P.; HOWES, M. J. R.; EDWARDS, S. E. Medicinal plants used in the traditional management of diabetes and its sequelae in Central America: A review. **Journal of ethnopharmacology**, v. 184, p. 58-71, 2016.

GIACOMELLI, S. R. **Estudo fitoquímico de três espécies pertencentes à família Rhamnaceae: *Discaria americana*, *Colletia paradoxa* e *Gouania ulmifolia***. 2005. 333 f. Tese de Doutorado (Pós-Graduação em Química) - Universidade Federal de Santa Maria, Rio Grande do Sul, 2005.

HEALD, S. V. 2004. Rhamnaceae. Pp. 323-324. In: N. SMITH; S.A. MORI; A. HENDERSON; D. W. STEVENSON; S. V. HEALD (eds.). **Flowering Plants of the Neotropics**. New Jersey, Princeton University Press.

FERNANDES, E. C.; FERREIRA, A. D. C. L.; ARAÚJO, E. L.; COSTA, E. M.; MOLINA-RUGAMA, A. J. Insectos visitantes de flores de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) en una región de Caatinga en el Brasil. **Revista Caatinga**, v. 26, n. 1, p. 16-20, 2013.

JOLY, A. B. Rhamnaceae. p. 446-448. In: Joly, A. B. (ed.) **Botânica: Introdução à Taxonomia Vegetal**. São Paulo, Companhia Editora Nacional, 1998.

KRUG, C., ALVES-DOS-SANTOS, I. 2008. O uso de diferentes métodos para amostragem da fauna de abelhas (Hymenoptera: Apoidea), um estudo em floresta ombrófila mista em Santa Catarina. **Neotropical Entomology**, v. 37, n. 3, p. 265-278.

LIMA, R. B. **A família Rhamnaceae no Brasil, taxonomia e diversidade**. 2000. 292 f. Tese de Doutorado (Pós-graduação em Botânica). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

LIMA, R. B.; GIULIETTI, A. M. Rhamnaceae. In: WANDERLEY, M. G. L., SHEPHERD, G. J., MELHEM, T. S., MARTINS, S. E., KIRIZAWA, M., GIULIETTI, A. M. (eds.). **Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo**. Instituto de Botânica, São Paulo, vol. 4, p. 331-342, 2005.

LIMA, R. B. 2015. **Rhamnaceae in Lista de Espécies da Flora do Brasil**. Jardim Botânico do Rio de Janeiro. Disponível em <<http://floradobrasil.jbrj.gov.br/jabot/floradobrasil/FB207>> Acessado em: 22 fev 2019.

MAIA, G. N. **Caatinga: árvores e arbustos e suas utilidades**. São Paulo: D & Z Computação Gráfica e Editora, 2004. 413 p.

MARINHO, I.V.; FREITAS, M. F.; ZANELLA, F. C. V.; CALDAS, A. L. Espécies vegetais da caatinga utilizadas pelas abelhas indígenas sem ferrão como fonte de recursos e local de nidificação. In: **Anais I Congresso Brasileiro de Extensão Universitária**. João Pessoa. 2002.

MASCARENHAS, R. E.; MODESTO JÚNIOR, M. D. S.; DUTRA, S.; SOUZA FILHO, A. P. D. S.; TEIXEIRA NETO, J. F. Plantas daninhas de uma pastagem cultivada de baixa produtividade no nordeste paraense. **Planta daninha**, v. 17, n. 3, p. 399-418. 1999.

MEDAN, D. Reproductive phenology, pollination biology, and gynoecium development in *Discaria americana* (Rhamnaceae). **New Zealand Journal of Botany**, v. 29, n. 1, p. 31-42, 1991.

MEDAN, D. Biología reproductiva de *Frangula alnus* (Rhamnaceae) no sul da Espanha. **Sistemática e Evolução de Plantas**, v. 193, n. 1-4, p. 173-186, 1994.

- MEDAN, D.; D'AMBROGIO, A. C. Reproductive biology of the andromonoecious shrub *Trevoa quinquenervia* (Rhamnaceae). **Botanical Journal of the Linnean Society**, v. 126, n. 3, p. 191-206, 1998.
- MEDAN, D.; ARCE, M. E. Reproductive biology of the Andean-disjunct genus *Retanilla* (Rhamnaceae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 218, n. 3-4, p. 281-298, 1999.
- MEDAN, D. Reproductive biology of the Andean shrub *Discaria nana* (Rhamnaceae). **Plant Biology**, v. 5, n. 1, p. 94-102, 2003.
- MEDAN, D.; SCHIRAREND C. Rhamnaceae. In: Kubitzki (ed) **The families and genera of vascular plants VI. Flowering plants — Dicotyledons: Celastrales, Oxalidales, Rosales, Cornales, Ericales**. Springer Verlag, Heidelberg, p. 320–338. 2004.
- MEDAN, D.; DEVOTO, M. Reproductive ecology of a perennial outcrosser with a naturally dissected distribution. **Plant Systematics and Evolution**, v. 254, n. 3, p. 173–184, 2005.
- MEDAN, D.; MONTALDO, N. H. Ornithophily in the Rhamnaceae: the pollination of the Chilean endemic *Colletia ulicina*. **Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants**, v. 200, n. 4, p. 339-344, 2005.
- MEDAN, D.; ZARLAVSKY, G.; BARTOLONI, N. J. Plant reproduction in the high-Andean puna: *Kentrothamnus weddellianus* (Rhamnaceae: Colletieae). **Plant Systematics and Evolution**, v. 299, n. 5, p. 841-851, 2013.
- MEDAN, D.; CASTILLO-CAMPOS, G.; ZARLAVSKY, G. Floral biology of *Adolphia infesta* and the reproductive profile of Colletieae (Rhamnaceae). **Journal of Pollination Ecology**, v. 16, n. 12, p. 82-90, 2015.
- MEDAN, D.; TORRETTA, J. P. Reprodução de *Colletia hystrix* e floração tardia em *Colletia* (Rhamnaceae: Colletieae). **Sistema Sistemático e Evolução**, v. 301, n. 4, p. 1181-1189, 2015.
- MEDAN, D.; DEVOTO, M. Ambophily, not entomophily: the reproduction of the perennial *Discaria chacaye* (Rhamnaceae: Colletieae) along a rainfall gradient in Patagonia, Argentina. **Plant Systematics and Evolution**, v. 303, n. 7, p. 841-851, 2017.
- MORAIS, D. J. G.; FREITAS, G. P.; FERREIRA, B. H. S.; SOUZA, C. S.; SIGRIST, M. R. *Gouania lupuloides* (Rhamnaceae) em remanescente urbano de Cerrado: andromonoiccia e polinização generalista. In: **IX Encontro de Botânicos do Centro-oeste**, Sinop-MT. 2016.
- NADIA, T. C.; MACHADO, I. C.; LOPES, A. V. Fenologia reprodutiva e sistema de polinização de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae): atuação de *Apis mellifera* e de visitantes florais autóctones como polinizadores. **Acta Botanica Brasilica**, v. 21, n. 4, p. 835-845. 2007.
- OLIVEIRA, D. R. D.; COSTA, A. L. M. A.; LEITÃO, G. G.; CASTRO, N. G.; SANTOS, J. P. D.; Leitão, S. G. Estudo etnofarmacognóstico da saracuramirá (*Ampelozizyphus amazonicus* Ducke), uma planta medicinal usada por comunidades quilombolas do Município de Oriximiná-PA, Brasil. **Acta Amazonica**, v. 41, n. 3, p. 383-392, 2011.

PINHEIRO, M. C. B.; ORMOND, W. T.; CASTRO, A. C. Biologia da reprodução e fenologia de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae). **Revista Brasileira de Biologia**, v. 51, n. 1, p. 143-152. 1991.

REISSEK, S. **Flora Brasiliense**. v. 11, n. 1, p. 107, 1861.

RODRIGUES, E. Plants and animals utilized as medicines in the Jaú National Park (JNP), Brazilian Amazon. **Phytotherapy Research: An International Journal Devoted to Pharmacological and Toxicological Evaluation of Natural Product Derivatives**, v. 20, n. 5, p. 378-391. 2006.

ROUBIK, D. W. **Ecology and natural history of tropical bees**. New York: Cambridge University Press, 1989. 514p.

RENNER, S. S. 2001. How common is heterodichogamy? **Trends in Ecology & Evolution**, v. 16, n. 11, p. 595-597, 2001.

Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira, SiSBBR, 2020. **Registros de ocorrências de *Gouania cornifolia* Reissek**. Disponível em: <<https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/391685#records>> Acessado em: 10.04.2020.

SANTOS, A. M. S.; KAHWAGE, C. C.; FERREIRA, M. R. C.; SAMPAIO, N. A. Traditional medicines in the Rio Negro Valley (Amazonas State, Brazil). Observations on the ethnopharmacology and the use of the plant saracuramirá (*Ampelozizyphus amazonicus*): Pharmacological activity and/or symbolic efficacy. **Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi: Série Ciências Humanas**, v 1, n. 1, p. 137-147, 2005.

SAKAGAMI, S. F.; LAROCA, S.; MOURE, J. S. Wild bee biocenotics in São José dos Pinhais (PR), South Brazil. Preliminary Report. **Journal of the Faculty of Science Hokkaido University**, v. 16, n. 2, 253-291. 1967.

SILVA, C. M.; SILVA, C. I.; HRNCIR, M.; QUEIROZ, R. T.; IMPERATRIZ-FONSECA, V. L. **Guia de plantas visitadas por abelhas na Caatinga**. 1 ed. Fortaleza, CE. Editora Fundação Brasil Cidadão, 2012.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira, baseado em APG II**. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2005, p 640.

TEL-ZUR, N.; SCHNEIDER, B. Floral biology of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). **Sexual plant reproduction**, v. 22, n. 2, p. 73-85, 2009.

WEECKLEY, C. W.; RACE, T. The breeding system of *Ziziphus celata* Judd and D. W. Hall (Rhamnaceae), a rare endemic plant of the Lake Wales Ridge, Florida, USA: Implications for recovery. **Biology Conservation**, v. 100, n. 2, p. 207-213, 2001.

ZANELLA, F. C. V.; SCHWARTZ FILHO, D. L.; LAROCA, S. 1998. Tropical bee island biogeography: diversity and abundance patterns. **Biogeográfica**, v. 74, n. 3, p. 103-115.

ANEXO I

Tabela 1. Lista dos insetos que foram coletados em flores de *Gouania cornifolia* Reissek em áreas de bordas de florestas (BF) e áreas de restauração pós-mineração (RPM), Norsk Hydro, Paragominas.[#]

Taxa	BF	RPM	Total
HYMENOPTERA			
Apidae			
<i>Aparatrigona impunctata</i> Ducke, 1916	1		1
<i>Apis mellifera</i> Linnaeus, 1758	308	506	814
<i>Augochlora sp.1</i>		1	1
<i>Augochloropsis sp. 2</i>	1	2	3
<i>Augochloropsis sp.1</i>	3		3
<i>Augochloropsis sp.3</i>	1	2	3
<i>Ceratina sp.1</i>	6	12	18
<i>Dialictus osmioides</i> Ducke, 1902		1	1
<i>Dialictus sp.1</i>	3		3
<i>Dialictus sp.2</i>	1		1
<i>Euglossa avicula</i> Dressler, 1982	1		1
<i>Exomalopsis analis</i> Spinola, 1853	2		2
<i>Exomalopsis auropilosa</i> Spinola, 1853		1	1
<i>Frieseomellita sp.1*</i>	28		28
<i>Hylaeus sp.1</i>	1		1
<i>Megachile (Melanosarus)</i>	1		1
<i>Megachile (Pseudocentro) sp.1</i>	2		2
<i>Megachile (Pseudocentro) sp.2</i>	1		1
<i>Megachile (pseudocentron) sp. 2</i>	1		1
<i>Melipona amazonica</i> Schulz, 1905	7		7
<i>Melipona fasciculata</i> Smith, 1854	1		1
<i>Melipona flavolineata</i> Friese, 1900*	16		16
<i>Melipona melanoventer</i> Schwarz, 1932	2		2
<i>Melipona puncticollis</i> Friese, 1902	7		7
<i>Melipona seminigra</i> Friese, 1903	2		2
<i>Melipona sp.1</i>	9		9
<i>Nannotrigona dutrae</i> Friese, 1901*	45		45
<i>Nannotrigona punctata</i> Smith, 1854	1		1
<i>Partamona ailyae</i> Camargo, 1980	3		3
<i>Partamona pearsoni</i> Schwarz, 1938	1		1
<i>Pereirapis semiaurata</i> Spinola, 1853	4		4
<i>Scaptotrigona bipunctata</i> Lepeletier, 1836	2		2
<i>Scaptotrigona tubiba</i> Smith, 1863	8		8
<i>Tetragona clavipes</i> Fabricius, 1804	5		5

<i>Tetragonisca angustula</i> Latreille, 1811	7	8	15
<i>Trigona branneri</i> Cockerell, 1912	1	2	3
<i>Trigona fuscipennis</i> Friese, 1900		1	1
<i>Trigona lacteipennis</i> Friese, 1900	4		4
<i>Trigona pallens</i> Fabricius, 1798*	93		93
<i>Trigona recurva</i> Smith, 1863	4		4
<i>Trigona sp.1</i>	1		1
<i>Trigonisca cfr vitrifrons</i> Albuquerque & Camargo, 2007	1		1
<i>Trigonisca sp.1</i>	1		1
<i>Xylocopa (schonherria) fr. Viridis</i> Smith, 1854	1		1
Total	587	536	1123
Vespidae			
<i>Agelaia fulvofasciata</i> De Geer, 1773*	14	11	25
<i>Agelaia pallipes</i> Olivier, 1792*	14	39	53
<i>Agelaia testacea</i> Fabricius, 1804	1		1
<i>Mischocyttarus injucundus</i> Saussure, 1854	1		1
<i>Mischocyttarus surinamensis</i> Saussure, 1854	2	1	3
<i>Mischocyttarus (Megacanthopus)</i>	1		1
<i>Polistes canadensis</i> Linnaeus, 1758	1	9	10
<i>Polistes pacificus</i> Fabricius, 1804	2		2
<i>Polistes subsericeus</i> Saussure, 1854		4	4
<i>Polistes versicolor</i> Olivier, 1792	5	3	8
<i>Polybia bicytarella</i> Richards, 1951	1	1	2
<i>Polybia chrysothorax</i> Lichtenstein, 1796		2	2
<i>Polybia dimidiata</i> Olivier, 1791	2	3	5
<i>Polybia emaciata</i> Lucas, 1879		2	2
<i>Polybia liliacea</i> Fabricius, 1804*	31	10	41
<i>Polybia rejecta</i> Fabricius, 1798*	8	17	25
<i>Polybia sericea</i> Olivier, 1792*	1	21	22
<i>Polybia spinifex</i> Richards, 1978	2	4	6
<i>Polybia striata</i> Fabricius, 1787	3	9	12
<i>Polybia tinctipennis</i> Fox 1898	1		1
<i>Zeta argillaceum</i> Linnaeus, 1758		1	1
Total	90	138	228
Formicidae			
Morfoespécie 1	227	115	342
<hr/> DIPTERA <hr/>			
Calliphoridae			
<i>Choroprocta idioidea</i> Robineau-Desvoidy, 1830	1		1
<i>Cochliomyia macellaria</i> Fabricius, 1775		1	1

<i>Lucilia eximia</i> Wiedemann, 1819	1	2	3
Muscidae			
Morfoespécie 1*	1	10	11
Syrphidae			
<i>Ornidia obesa</i> Fabricius, 1775	4	1	5
Morphoespécie 1*	5	17	22
Sarcophagidae			
<i>Oxisarcodexia avuncula</i> Lopes, 1933		1	1
<i>Oxisarcodexia thornax</i> Walker, 1849	2	4	6
<i>Oxysarcodexia avuncula</i> Lopes, 1933		2	2
<i>Oxysarcodexia cocais</i> Carvalho-Filho, Sousa & Esposito 2017		1	1
<i>Peckia (Sarcodexia) lambers</i> Wiedemann, 1830		1	1
<i>Retrocitomyia retrocita</i> Hall, 1933		2	2
Morfoespécie 1*	32	111	143
Tabanidae			
Morfoespécie 1	3		3
Tachinidae			
Morfoespécie 1	2	1	3
Total	51	157	208

COLEOPTERA

Chrysomelidae

<i>Alticini sp.*</i>	14		14
<i>Trichaltica sp.*</i>	1	20	21
Total	15	20	35

#Essa listagem está incompleta, pois ainda não recebemos a identificação de todos os grupos taxonômicos

*Visitantes florais mais frequentes (≥ 10 indivíduos)

3. CAPÍTULO 2:

Floral biology of a native heterodichogamous liana, *Gouania cornifolia* Reissek (Rhamnaceae), with potential of natural regeneration in the Brazilian Amazon

(Manuscrito formatado de acordo com as normas da Revista Brasileira de Botânica)

FLORAL BIOLOGY OF A NATIVE HETERODICHO GAMOUS LIANA, *Gouania cornifolia* REISSEK (RHAMNACEAE), WITH POTENTIAL OF NATURAL REGENERATION IN THE BRAZILIAN AMAZON

Leilane Ávila Bezerra¹; Marivana Borges Silva²; Márcia Motta Maués³; Thamires Oliveira Reis⁴; William de Oliveira Sabino⁵; Ely Simone Cajueiro Gurgel⁶; Marlúcia Bonifácio Martins⁷; Telma Fátima Vieira Batista¹

¹Programa de Pós-graduação em Agronomia, Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. CEP 66.077-830, Brazil

²Laboratório de Botânica, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, *Campus* de Bragança, Bragança, PA, CEP 68600-000, Brazil

³Laboratório de Entomologia, Embrapa Amazônia Oriental, Belém, PA, CEP 66.093-905, Brazil

⁴Programa de Pós-Graduação em Ciências Biológicas: Botânica Tropical, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, PA, CEP 66077-830, Brazil

⁵Instituto Tecnológico Vale, Rua Boaventura da Silva, Belém, PA, CEP 66055-090, Brazil

⁶Coordenação de Botânica Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA, CEP 66077-830, Brazil

⁷Coordenação de Zoologia Museu Paraense Emílio Goeldi, Belém, PA, CEP 66077-830, Brazil

ABSTRACT

Gouania cornifolia (Rhamnaceae) is a liana, native to Amazon, with potential of natural regeneration in the Brazilian Amazon. We describe the floral biology and reproductive phenology of the species present in the forest border and in post-mining restoration areas in Paragominas, Pará State, Brazil, during a flowering and fruiting cycle in 2019, in order to characterize floral events, flower morphology, resources and attractants. The stigma receptivity and pollen viability were also evaluated. The flowering period extended from May to mid-September, showing terminal racemiform thyrses with small, multi-flowered cymes, and inconspicuous (2 to 3 mm) light yellow-green bisexual and staminate flowers (1:25 sex ratio). The population showed two genetic morphs, one with flowers opening around 7:00 (A07 morph), and another opening around 11:00 (A11 morph). Bisexual flowers are protandric and in A07 shed pollen in the morning, and expose stigma in the afternoon, conversely, A11 shed pollen in the afternoon and expose stigma in the next morning, when it grows, distend the lobes and is receptive. Bisexual flowers fell until 82 hours after anthesis, and staminate flowers fell up to 66 hours. Nectar was predominantly offered in the first day of flower anthesis, its volume ranged from 0.1-1.5 μ l. Sugar concentration varied from 50-80%, and pollen viability scored >80%. Presents a peculiar floral display, easy access to floral resources, facilitating entomophily and exhibits sexual dimorphism of the andromonoecious type, with a rare reproductive phenomenon, heterodichogamy, the temporal behavioral dimorphism, with two reciprocal genetic morphs in the population.

Keywords: andromonoecy, dichogamy, dimorphism, herkogamy, protandry

3.1 Introduction

Flowering plants shows an overwhelming diversity of forms, but most of them have bisexual flowers, and in order to prevent autonomous self-pollen deposition on the stigma, developed strategies to avoid inbreeding depression and decrease self-interference on pollen deposition, either by genetic self-incompatibility or through morphological mechanisms (Lloyd and Webb 1986; Webb and Lloyd 1986; Renner 2001; Barret 2002a).

Among the functional and morphological outcrossing barrier mechanisms, herkogamy (spatial separation of anthers and stigma) and dichogamy (temporal separation of pollen release and female receptivity) within or between blossoms of an individual plant, are basically the principle of reduction of auto-sexual interference, but there are many types of heteromorphy in flowers, in which two reciprocal morphs favor cross pollination (Renner 2001; Endress 2020).

According to Endress (2020), the synchronization of male and female function during the flowering phase have evolved in many angiosperms in three main patterns: heterodichogamy, pseudoheterodichogamy and duodichogamy.

The first is a rare sexual dimorphism originally described by Stout (1928) as the condition when both protandry and protogyny or when many degrees of dichogamy occurs among the flowers of one plant or among the individuals of a species. The expression of dichogamy in bisexual (hermaphrodite) flowers occurs in two reciprocal genetic morphs (two mating types) within a population in a temporal sequence, suggesting a simple genetic mechanism (Renner 2001; Pannel and Verdú 2016). In heterodichogamic species both flowering phases of the two mating types are synchronous and reciprocal, favoring cross-fertilization between sexual morphs (Pendleton et al. 2000).

Despite being yet understudied, heterodichogamy is phylogenetically widespread, occurring in 13 families and 12 orders of angiosperms, and with strong evidence that it has

evolved toward dioecy in several independent angiosperm lineages (Pendleton et al. 2000; Renner 2001; Endress 2020). In Rhamnaceae, heterodichogamy has been described in *Ziziphus joazeiro* Mart. (Nadia et al. 2007), *Colletia paradoxa* Spreng. (Ambrógio and Medan 1993), *Z. mauritiana* Lam. (Devi et al. 1989; Tel-Zur and Schneider 2009) *Z. jujuba* Mill., *Z. spina-christi* (L.) Willd. (Renner et al. 2001) e *Z. mucronata* Willd. (Zietsman and Botha 1992; Renner et al. 2001) although complete and incomplete dichogamy has been reported in many species (Lloyd and Webb 1986; Medan 2003; Medan 2004; Medan and Devoto 2017).

The genus *Gouania* Jacq. is represented by shrubby lianas, with tropical and subtropical distribution, occurring from the south of Venezuela to the north of Peru (Powo 2021), mainly at the forest edges (Lima and Giulietti 2005).

The species *Gouania cornifolia* Reissek presents an important ecological potential, due to its capacity of adaptation under harsh conditions, in nutrient-poor soil areas with low humidity and high temperatures. It is commonly found as an invasive species in pastures in eastern Amazon region (Dantas and Rodrigues 1980). In addition, the species is wind dispersed, once its fruits present three 2-winged mericarps which separate from each other at maturity stage (Lima and Giulietti 2005; Pool 2014). These characteristics contribute to its colonization in degraded environments.

The floral biology and pollination ecology of *G. cornifolia* is totally unknown. This information is the basis to identify the biotic potential and favorable use of this native species in the restoration of areas that have undergone intense degradation. In addition, it is important to consider its role in facilitating the ecological interactions between plants and pollinators, necessary for successful forest regeneration (Menz et al. 2011).

Gouania species have bisexual and staminate flowers in the same inflorescence, were flower nectar disks have taxonomic relevance for the genus (Lima and Giulietti 2005) and

the style anatomy and the ultrastructure of the pollen tube are morphological characters useful for phylogenetic analysis at suprageneric level in Rhamnaceae (Gotelli et al. 2018).

In *Gouania*, only *Gouania. lupuloides* (L.) Urb. was studied concerning its sexual system and pollination ecology (Morais et al. 2017) and, in *Gouania polygama* Jacq., the fruit set was obtained (6,7%) (Ramírez 1993). Morais et al. (2017) refer to andromonoecy, homogamy, reverse herkogamy and generalist pollination in the species, however this work investigated only one individual of the species, which makes it impossible to describe reproductive characteristics that only become evident in the field, investigating a larger sample of individuals, occurring in natural populations (Renner 2001).

In Rhamnaceae, the few species already investigated are dependent on cross-pollination and need a pollen vector to mediate the fertilization of flowers and, consequently, assist in fruit production (Galil and Zeroni 1967; D'Ambrogio and Medan 1993; Medan and D'Ambrogio 1998; Weekley and Race 2001; Medan 2003; Nadia et al. 2007), where flies, bees and wasps are often identified as the main pollinators (Nadia et al. 2007; Fernandes 2013; Medan et al. 2015).

In this study, *G. cornifolia* was found in forest edge and post-mining natural regeneration areas in Brazilian eastern Amazon. Considering its ecological potential and traits that favor colonization in degraded lands, and its importance as food resource (pollen and nectar) for a myriad of floral visitors, thus contributing to the conservation of plant-pollinators interactions, further research on *G. cornifolia* could better elucidate its reproductive biology and its role in the pollinators network in areas that have undergone an intense process of degradation.

Therefore, when describing the floral biology of *G. cornifolia*, this work aims to contribute to enhance the knowledge of an important species for the natural regeneration of post-mining degraded areas.

3.2 Material and methods

3.2.1 Study site

The studies were conducted in the area of Hydro Bauxite Mining Company, located in the municipality of Paragominas, east of the state of Pará (S03°15'38" W47°43'28") (Fig. 1).

The climate of the region is of the "Aw" type, according to Köppen classification, humid tropical, with average annual temperature of 26 °C, relative humidity around 81% (Bastos et al. 2005) and the annual average of rains is 1.500 mm, with a rainy period from January to May (Giuliatti et al. 2019; INMET 2021).

G. cornifolia is very often found in the Hydro-Paragominas area (Fig. 2a), in forest edge and post-mining natural regeneration areas, with individuals that grow in aggregations, with their branches intertwined forming extensive groups of individuals, which can ascend over other trees or lianas, using them as support, or cover the soil (Fig. 2b) in bauxite post-mining restoration areas.

The bauxite post-mining restoration areas underwent an intense process of suppression of the forest and removal of the soil top up to 3 meters deep for the extraction of bauxite from 2007. Today, part of the vegetation is under ecological succession process in these areas, which presents a low plant diversity, and the soils hold low natural fertility, with high concentration of aluminum and low concentrations of calcium, magnesium, potassium, phosphorus and nitrogen (Rodrigues et al. 2003).

3.2.2 Floral and inflorescence morphology

In order to characterize the flowering and fruiting period of the species, monthly expeditions were carried out during one year to the study area, when the presence or absence of flowering and fruiting events in *G. cornifolia* plants were registered. For the observation

of the floral and inflorescence biology, four expeditions have been carried out in the flowering season (June/2019 to September/2019), each expedition with 10-20 days of duration. We studied the dynamics of floral events related to the occurrence of different flower morphs in plants, branches, inflorescences and flowers, in 24 individuals (Voucher Number IAN:197761) at least 100 m apart. In three of these individuals, we collected 10 inflorescences per plant and preserved in 70% alcohol according to Radford et al. (1974), being subsequently used for structural and morphological analysis under stereomicroscope of flowers (30), stigma (30), stamen (30), petals (30), sepals (30), with description of the floral morphology aided by specialized bibliography (Harris and Harris 2001; Barroso 2002), and determination of floral verticiles color according to the Colour Chart of The Royal Horticultural Society (RHS 2001).

3.2.3 Floral phenophases

We investigated the occurrence of different genetic morphs of *G. cornifolia* within the population, tagging the different morphs according to the flower anthesis time, since one morph opened flowers around 7:00 (named A07 morph), and the other opened around 11:00 (named A11 morph).

We also tagged the bisexual (12 ± 2 flowers/ 3 plants) and staminate (18 ± 3 flowers/ 3 plants) flowers in A07 individuals; and bisexual (13 ± 3 flowers/ 3 plants) and staminate (16 ± 1 flowers/ 3 plants) flowers in A11 individuals and accompanied from pre-anthesis to senescence and/or initial fruit development, in order to characterize the flower longevity, anthesis period, exposure of floral resources and attractants (nectar, pollen, color, odor), positioning of petals and sepals, style growth and distention of the stigmatic lobes, until the development of the ovary, in observations performed at intervals of two hours.

We investigated the sex ratio tagging all the mature flower buds (in pre-anthesis) by inflorescence (thyse) (Fig. 2c), starting at the most distal cyme (Fig. 2d), towards the most proximal cyme, up to the hundredth bud (100 buds/ 2 plants A11), and observing the occurrence of bisexual and staminate flowers.

3.2.4 Stigma receptivity

We evaluated the receptivity of the stigma in tagged and bagged bisexual flowers using the rapid drop hydrogen peroxide test (H_2O_2) at 3% (Dafni et al. 2005). In order to accomplish this, we applied 10 μ L of H_2O_2 on the stigma surface with a micropipette (Micropipette 1–10 μ L), after which the observations were carried out with the aid of a stereomicroscope.

We evaluated stigmas every two hours, after the beginning of floral anthesis, until confirmation of stigmatic receptivity, at six intervals (8:00, 10:00, 12:00, 14:00, 16:00, 18:00) in A07 individuals (5 flowers/ 3 plants/ time) and 11 intervals (12:00, 14:00, 16:00, 18:00, 20:00, 22:00, 0:00, 2:00, 4:00, 6:00, 8:00) in A11 individuals (5 flowers/ 2 plants/ time). We kept the evaluated flowers bagged since pre-anthesis, with transparent PBS Microperforated Polypropylene Bags (allowing air to pass through, but excluding insects).

3.2.5 Location of the osmophores

To ascertain the floral active secreting glands (osmophores), detached staminate and bisexual flowers in anthesis (5 flowers/ 2 plants/ sex), in A07 and A11 individuals, were immersed in an aqueous neutral red solution (0.1%, distilled water) (Vogel 1962 *Apud* Dafni et al. 2005). The optimal staining time was 60 min of staining. Afterwards, flowers were rinsed with distilled water and photographed in a stereomicroscope.

3.2.6 Pollen and Nectar Presentation

We performed the enzymatic evaluation of pollen viability with Baker's procedure (Dafni 1992) in anthers of tagged and bagged flowers in three different floral stages (one, two- and three-days old flower) in three plants (22 ± 10 flowers). This test detects the presence of alcohol dehydrogenase and the pollen grain was considered viable if it turned violet or pink (Rodriguez-Riano and Dafni 2000).

Nectar sugar concentration (% brix) and volume (μl) from flowers (not sexed) were recorded at four intervals (10:00, 12:00, 14:00 and 16:00) in A11 individuals (5 flower/ 5 plants/ time) with the aid of glass microcapillaries (1 μl) and hand-held refractometer, with the nectar collected from the flower still on the plant, in the same flower at each time.

The pollen and nectar analysis were carried out without the possibility of sexing the investigated flower, due to the high variation in size of the vestigial pistils of the staminate flowers, which makes difficult to distinguish morphologically in the field the staminate flowers with a medium-sized pistil (approximately 0.5 mm) and protandrous bisexual flowers in the male phase of the flower, when the anthers are releasing pollen and the pistils are still short and not distended.

3.3 Results

3.3.1 Reproductive phenology

The vegetative growth period of *G. cornifolia* was represented in the months from January to April (Fig. 3a, b). The flowering period began in mid-May and lasted until September, with the month of July being the period in which the largest number of flowering individuals (> 80%) was observed (Fig. 3a, c). The fruits began their development in August (Fig. 3a, d), and dispersed seeds from October to mid-December (Fig. 3a, e).

3.3.2 Floral and inflorescence morphology

At the study site, *G. cornifolia* population presented dichogamous plants with temporal behavioral dimorphisms, comprising two genetic morphs, one with flowers that open around 7:00 (named A07 morph), the other open around 11:00 (named A11 morph).

The inflorescences are terminal racemiform thyrses composed of small, multi-flowered cymes ($9,7 \pm 3,7$ cm in length and $1,0 \pm 0,2$ cm in diameter) (Fig. 4a), with flower buds (Fig. 4k) and inconspicuous (2 to 3 mm in length and diameter) light yellow-green bisexual and staminate flowers (1:25 sex ratio), which open at the same time in the same inflorescence, with 27 ± 11 flowers opened by cyme.

The flowers are light yellow-green in color on the petals (150D code in the Color Chart), sepals (145D code), nectar disc (144D code), style (144D code), filament (150D code), anthers (150D code), and green in color on the stigmas (143C code).

The floral parts are grouped in concentric circles in the receptacle, forming the whorls. They have bisexual (Fig. 4e) and staminate (Fig. 4g) flowers in the same inflorescence, are actinomorphic (Fig. 4j), pedicellate (Fig. 4b); pentamer sepals ($1,11 \pm 0,18$ mm) alternating petals, reduplicate, with apex callused on the adaxial face, pubescent on the abaxial face (Fig. 4c); petals ($1,11 \pm 0,17$ mm) pentamers, cucullate, curved over the stamens (Fig. 4d, h). The style has three partially united glabrous lobes in bisexual flowers ($1,04 \pm 0,16$ mm) (Fig. 4i) and rudimentary in the staminate flowers, varying in size ($0,5 \pm 0,15$ mm), sometimes absent.

There are three ovules per locule in the tricarpeal and trilocular, inferior ovary. The five same-sized filantherous stamens ($0,47 \pm 0,07$ mm) (Fig. 4f) have dehiscence dorsifixed anthers ($0,33 \pm 0,08$ mm). The bisexual and staminate flowers have membranous e striate nectariferous disc at the base of the floral whorls (Fig. 4j).

3.3.3 Floral phenophases and stigma receptivity

3.3.3.1 *Bisexual flower*

The bisexual flowers are protandric and in A07 plants sheds pollen in the morning, and has stigmas exposed to pollinators in the afternoon, named "male or staminate" and "female or pistillate" phase of bisexual flower, respectively. The bisexual flowers of A11 plants sheds pollen in the afternoon and exposed the stigmas to pollinators in the morning of the following day. In non-bagged flowers, there is a high mechanical damage to the stamens during insect visitation, most of which are damaged even before the bisexual flower enters the pistillate phase.

During the male phase of bisexual flower, the style is quite short, petals and stamens are perpendicular to the floral receptacle and petals protect the stamens, covering them without, however, preventing the exposure of pollen grains. The newly dehiscent anthers are located in the central portion of the flower, higher than the stigma (still short and unreceptive at this stage), in pollinators' approaching way (Fig. 5a). As the flower developed, the style became longer and the petals and stamens moved outwards, until they reached the same level as the sepals (Fig. 5b), making way for pollen deposition during the female phase. In the female phase (Fig. 5c-f) the stigma distended (Fig. 5c), assuming the central position of the flower (Fig. 5e) and becomes receptive (reactive to peroxide) (Fig. 5f). The stigmatic lobes of open-pollinated flowers have pollen grains attached to the tip of the stigma (Fig. 5d).

In the investigated A07 plants, 51% of the bisexual flowers fell within 44 hours after anthesis, and in the investigated A11 plants, 68% of the bisexual flowers fell within 82 hours after anthesis. The rest remained in the plant for more than 5 days, possibly developing fruit.

The test with hydrogen peroxide in stigmas of A07 plants confirmed the beginning of the distention of the stigmatic lobes and receptivity at 14:00 pm, with 67% of the flowers reactive to the peroxide. Between 16:00 and 18:00 pm, when the stigma was more elongated

and the stigmatic lobes were wide distended, 80% do 100% of the flowers reacted intensely with the peroxide, forming many bubbles, denoting high stigmatic receptivity.

In A11 plants, the beginning of stigmatic receptivity was verified at 20:00 pm, when the distention of the stigmatic lobes begins, with 80% of the stigmas reactive to peroxide, but with low intensity (fewer bubbles). In the next day, at 6:00 am, the style of the bisexual flower reach their most stretched size and open stigmatic lobes, and at 8:00 am they are 100% more intensely reactive to peroxide (many bubbles).

3.3.3.2 *Staminate flower*

At the beginning of anthesis, petals and stamens of staminate flowers (in A07 and A11 plants) are perpendicular to the floral receptacle (Fig. 6a-c), similar to that described for bisexual flowers. At this point, the petals protect the stamens, covering them without, however, preventing the exposure of pollen grains (Fig. 6g, h).

After 2 hours the petals and stamens move until they reach the same level as the sepals (Fig. 6d), exposing the detail of the vestigial pistil, quite short, which varies in size (0-0.5 mm), as shown in Fig. 6i, j with style 0.5 mm in size, and figures 6k, l with apparent absence of the vestigial pistil. On the third day the anthers and stamens turn brown. On the fourth day, the petals and stamens began to wilt, and the supply of nectar, odor, pollen and visitation of insects ceased (Fig. 6e). On the fifth day, all floral parts withered and fell (Fig. 6f).

In the A07 plants investigated, 96% of staminate flowers fell within 63 hours after anthesis, and in A11 plants 88% of staminate flowers fell within 66 hours after anthesis.

3.3.4 Nectar availability

The average production of nectar is more significant in the first flower phenological stage ($1,0 \pm 0,4 \mu\text{l}$), decreasing progressively in the following phenological stages, respectively stage 2: $0,3 \pm 0,2 \mu\text{l}$ and stage 3: $0,1 \pm 0,08 \mu\text{l}$. The sugar concentration increased over the days, varying from 63% to 80% brix degree between the first and third day in the morning until 10:00 am. In stages 4 and 5, no nectar production was recorded in the flowers (Fig. 7).

3.3.5 Pollen viability and odor production

The pollen viability test indicated the high proportion ($> 80\%$) of viable pollen in flowers on the 1st, 2nd and 3rd day after anthesis.

The odor exhaled by the flowers was mild, citrus like, and detectable in the vicinity of the plant, being more intense during the initial phase of anthesis and throughout the first day, with odorous glands (osmophores) present mainly at the edges of petals and sepals in both bisexual and male flowers (Fig. 8).

3.4. Discussion

3.4.1 Floral events, flower morphology, resources and attractants

G. cornifolia flowers belong to a dish shape type structural blossom class, with unfused and actinomorphic corolla (Faegri and Van der Pijl 1979). This indicates a relative accessibility to the main floral rewards (pollen and nectar), as they are small flowers, with short calyx and corolla. The clusters formed by the intertwined individuals of *G. cornifolia* in the study area, ensure high floral display with many presences of open flowers on a plant at the same time and abundant supply of pollen and nectar to floral visitors throughout the day.

In addition, they emit a mild citrus odor, of greater intensity in the first hours of floral anthesis, and secrete high sugar concentration nectar during the three days of flower life. Such characteristics suggest adaptations to entomophily, indicating the possibility of pollination by certain groups of insect pollinators, such as beetles, flies and bees (Faegri and Van der Pijl 1979).

Flowering events in *G. cornifolia* were registered from the end of the rainy season in the eastern Amazon (mid-May to September), overlapping partially with the fruit's development, which occurred in the dry season (August to December). The dissemination of seeds occurred in the transition of the dry to the rainy season (October to December), noticing that the fruits and seeds showed structures compatible with wind dispersion (Lima and Giuliatti 2005).

There are few studies on flowering phenology of plants of the Rhamnaceae family in the Eastern Amazon. According to the occurrence records of fertile samples of *G. cornifolia* in the herbariums of the Brazilian Biodiversity Information System (SiBBR 2020), these plants were mostly collected in the driest period of the year, between July and November, extending until January, with the highest occurrence from September to October.

In a survey conducted by Asatryan and Tel-Zur (2013), on the phenological stages in species of the genus *Ziziphus* under cultivated conditions prevalent in the Negev desert in Israel, flowering patterns were similar between species of *Z. mauritiana* and *Z. spina-christi*, showing an overlap of flowering in June to October and at the same time an overlap in fruiting from August to November. Similar results were recorded in *G. cornifolia*, which also exhibited flowering period in June to September and fruiting that extended from August to December.

3.4.2 Sexual resource allocation

In Rhamnaceae species, experimental studies show that self-incompatibility seems to be the best explanation for the non-formation of fruits via autogamous and geitonogamous, and the optimal allocation of resources to female and male function and the genetic control of sex expression are factors that acted as an important selective force in promoting the evolution of diverse floral strategies (Zietsman and Botha 1992; D'Ambrogio and Medan 1993; Medan and Vasellati 1996; Barret 2002b; Dai and Galloway 2011; Asatryan and Tel-Zur 2013)

G. cornifolia exhibits sexual dimorphism of the andromonoecious type, with staminate and bisexuated flowers within an individual genet. In addition to the genus *Gouania Jacq* (Morais et al. 2017), andromonoecia was also observed in the genera *Trevoa* Miers ex Hook (Medan and D'Ambrósio 1998; Medan and Schirarend 2004) and *Alphitonia* Reissek ex Endl (Medan and Schirarend 2004).

In *G. cornifolia* an evident andromonoecy was found, with a large number of staminate flowers (> 70%), which may favor the pollen flow between flowers, with consequent favoring of the male reproductive fitness in the species.

In *G. cornifolia*, the interplant variation in relation to the number of bisexual flowers fallen (unpublished data) may be related to a 'gender monomorphism' in the species, that show continuous variation in the relative genetic contributions that plants make to the next generation as female and male parents (Frankel and Galun 1977; Medan and Vasellati 1996; Barret 2002). Future research should be directed to a study of intra and interplants flower sex ratio throughout the flowering period and between areas of occurrence of *G. cornifolia* individuals.

In Andromonoecious, all flowers with female organs are also male and, therefore, all female organs are capable of being pollinated by the same flower (i.e, autogamously)

(Richards 1986). Nonetheless, there are several reproductive strategies that can prevent inbreeding depression, decrease self-interference on pollen deposition and avoiding the appearance of seedless fruits (Medan and D'Ambrósio 1998; Asatryan and Tel-Zur 2013; Wang et al. 2017).

G. cornifolia exhibits protandry-type dichogamy, where individual bisexual flowers begin anthesis with a functionally male phase and continue anthesis with both sexes functional (Endress 2020). This strategy is common in species of Rhamnaceae (Webb 1985; Zietsman and Botha 1992; Asatryan and Tel-Zur 2013; Cerino et al. 2015) and in several other families of angiosperms (Bertin and Newman 1993).

The bisexual flowers of *G. cornifolia* presents floral features enabling the presentation of pollen and stigma in exactly the same place of the flower. The newly dehiscent anthers are located in the central portion of the flower, in pollinators' approaching way. As the flower developed, the style became longer and the petals and stamens moved outwards, making way for pollen deposition during the female phase. In the female phase, the stigma distended and becomes receptive, assuming the central position of the flower. The position exchange of the stamen and stigma created a dynamic herkogamy (mechanism of movement herkogamy) at the floral phase with different sexual functions. This floral mechanism avoided sexual interference and maintained pollination accuracy (Medan and Ponessa 2003; Dai and Galloway 2011; Armbruster et al. 2014; Ye et al. 2019).

The hooded (cucullate) petals, according to Medan (1991) might be a strategy to prevent pollen-stigma interference in bisexual flowers, as exemplified in *Discaria americana* Gillies ex Hook., a South-America Rhamnaceae, hindering the self-transfer of pollen in the flower. The hooded petals also prevent pollen from being removed from the anther all at once. This can be important, as efficient pollination depends on successive visits to the flowers and the constancy of the type of flower to the pollinator, based on profitability,

where the amount of reward per flower should be sufficient to justify a visit, but it is not as extensive to the point of limiting successive visits to the flowers (Frankel and Galun 1977), which corroborates the hypothesis of Medan and D'Ambrósio (1998), who indicate that the cucullate petals of *T. quinquenervia* (Gill. et Hook.) contribute to pollen delivery in separate doses, while reducing pollen-robbing.

Additionally, the presence of a viscous substance that covers the surface of the pollen grains and attach them to each other, pollenkitt type (unpublished data) (Dobson, 1988), at the same time makes it difficult for the self-pollen to fall on the stigma, and facilitates its removal by flower visitors due to an easier adherence on the insect's body.

According to Renner (2001), many dichogamous species exhibit synchronous dichogamy, the situation that flowers of an individual all mature in synchrony, with little or no overlap between carpellate and staminate stages. This is the case of *G. cornifolia*.

In addition, *G. cornifolia* exhibits a rare reproductive phenomenon, the heterodichogamy (the temporal behavioral dimorphisms), where populations of the species comprise two reciprocal genetic morphs according to the flower anthesis time, here called A07 and A11 morphs. *G. cornifolia* ensures efficient cross-pollination inter-morph, since different plant morphs can occur intertwined in the same group (clump) of individuals.

The heterodichogamy is only detected if the flower phenology is studied in several individuals in natural populations, as the differential movements and maturation of petals, styles, stigmas and stamens become invisible in dried herbarium material, and planted populations deriving from vegetatively propagated material no longer reflect natural morph ratios (Renner 2001).

The heterodichogamy maintains, throughout the day, a constant supply of pollen and nectar in the population of *G. cornifolia* at the time of flowering of the species, ensures a constant and abundant visitation of a high diversity of insect visitors, since while there were

individuals who presented all bissexual and staminate flowers with abundant pollen and nectar in the morning and other individuals were also found flowers with abundant pollen and nectar in the afternoon hours, which presents a great availability of the main floral rewards for pollinating animals, which are easily attracted by flowers along the day. Thus, there is a greater spectrum of visitation by insects that end up transferring much more pollen grains from one flower to another, favoring cross-pollination in the species.

3.4.3 Reproductive studies of *Gouania cornifolia* and its implications for conservation

Although few studies discuss floral biology and pollination in *Gouania* plants (Morais et al. 2017), andromonoecy, dichogamy and heterodichogamy may be evident factors to characterize the predominance of cross-fertilization in the species. Consequently, these factors can influence the reproductive system, pollination system, genetics, seed dispersal and spatial distribution of *G. cornifolia*.

Restoring a degraded area to the state it was before is not an easy process. Two of the main challenges faced by restoration ecologists are in defining the restoration points and establishing the appropriate restoration practices to achieve them (Devoto et al. 2012). Species like *G. cornifolia* are good examples of these challenges, since the heterodichogamy is a condition difficult to manage in a non-natural restoration. The population is composed of two reciprocal genetic morphs (here, A07 and A11), and this natural condition could be masked by planting only one variety. Therefore, studies about phenology in non-natural restoration areas could show different results blinded by the presence of only one morph. This is important because when planning a restoration process, a purely structural focus is inadequate (Forup et al. 2008) and aspects like the functional traits (as the capacity to attract pollinators) should be considered (Carlucci et al. 2020). The heterodichogamy in *G.*

cornifolia is a feature that allows the offer of pollen and nectar in two different hour periods to pollinators. This, added to the fact that the species is a colonizer and very abundant at the bauxite post-mining restoration areas, make *G. cornifolia* a potential key species for the restoration process.

3.5 Conclusions

We conclude that *G. cornifolia* presents a high floral display, with low restriction of access to floral resources (pollen and nectar), which suggests adaptations to entomophily; exhibits sexual dimorphism of the andromonoecious type, protandry-type dichogamy, mechanism of movement herkogamy, and heterodichogamy; and the ecological and reproductive characteristics of species make it a potential key species for the restoration process.

3.6 Acknowledgements

The authors would like to thank to all who assisted in field and laboratory work at Companhia Mineradora de Bauxita Hydro for the assistance in the field work, specially the the Environment Department; to the Herbário IAN (Embrapa Amazônia Oriental) and Herbário João Murça Pires (Museu Paraense Emílio Goeldi), for collaboration in the identification of botanical samples of the species; to the botanical illustrator Carlos Álvarez (Museu Paraense Emílio Goeldi) for drawing the flowers and inflorescences; to the anonymous reviewers for useful suggestions that helped to improve this paper. The Biodiversity Research Consortium Brazil-Norway (BRC), Hydro-Alunorte, funded the expedition and the Master scholarship for the first author (Ecological Interaction Project).

3.7 Author's contribution

All authors contributed to the study conception and design. Material preparation, data collection and analysis were performed by Leilane Ávila Bezerra, Marivana Borges Silva, Thamires Oliveira Reis and Márcia Motta Maués. The first draft of the manuscript was written by Leilane Ávila Bezerra and Marivana Borges Silva, and all authors commented on previous versions of the manuscript. All authors read and approved the final manuscript.

REFERÊNCIAS

Armbruster WS, Corbet SA, Vey AJM, Liu S-J, Huang S-Q (2013) In the right place at the right time: *Parnassia* resolves the herkogamy dilemma by accurate repositioning of stamens and stigmas. *Ann Bot* 113:97-103. doi:10.1093/aob/mct261

Asatryan A, Tel-Zur N (2013) Pollen tube growth and self-incompatibility in three *Ziziphus* species (Rhamnaceae). *Flora-Morphology, Distribution, Flora* 208:390-399. doi:10.1016/j.flora.2013.04.010

Barrett SCH (2002a) The evolution of plant sexual diversity. *Nat Rev Genet* 3:274–284. doi:10.1038/nrg776

Barrett SCH (2002b) Sexual interference of the floral kind. *Heredity* 88:154–159. doi:10.1038/sj.hdy.6800020

Barroso GM (2002) *Sistemática de Angiospermas do Brasil*. Viçosa: UFV

Bastos TX, Pachêco NA, Figueirêdo RO, Silva GFG (2005) Características agroclimáticas do município de Paragominas. Embrapa Amazônia Oriental. Documentos 228. Belém

Bertin RI; Newman CM (1993) Dichogamy in angiosperms. *The Bot Rev* 59:112-152. doi:10.1007/bf02856676

- Carlucci MB, Brancalion PH, Rodrigues RR, Loyola R, Cianciaruso MV (2020) Functional traits and ecosystem services in ecological restoration. *Restor Ecol* 28:1372-1383. doi: 10.1111/rec.13279
- Cerino MC, Richard GA, Torretta JP, Gutiérrez HF, Pensiero JF (2015) Reproductive biology of *Ziziphus mistol* Griseb (Rhamnaceae), a wild fruit tree of saline environments. *Flora* 211:18-25. doi: 10.1016/j.flora.2014.12.002
- Dai C, Galloway LF (2011) Do dichogamy and herkogamy reduce sexual interference in a self-incompatible species? *Funct Ecol* 25:271-27. doi.org/10.1111/j.1365-2435.2010.01795.x
- D'Ambrogio A, Medan D (1993) Comportamento reprodutivo de *Colletia paradoxa* (Rhamnaceae). *Darwiniana* 32:1-14
- Dafni, A (1992) *Pollination ecology: a practical approach*. Oxford University Press, New York
- Dafni A, Kevan PG, Husband BC (2005) *Practical Pollination Biology*. Canadá: Enviroquest, pp 107-108
- Dantas M, Rodrigues IA (1980) Plantas invasoras de pastagens cultivadas na Amazônia. *Bol Pesq* 1, Belém
- Devi KR, Atluri JB, Reddi CS (1989) Pollination ecology of *Zizyphus mauritiana* (Rhamnaceae). *Proceedings: Plant Sci* 99:223-239. doi: 10.1007/BF03053596
- Devoto M, Bailey S, Craze P, Memmott J (2012) Understanding and planning ecological restoration of plant–pollinator networks. *Ecology letters* 15:319-328

Dobson HEM (1988) Survey of pollen and pollenkitt lipids-chemical cues to flower visitors?
Am J Bot, 75: 170-182. doi: 10.1002/j.1537-2197.1988.tb13429.x

Endress PK (2020) Structural and temporal modes of heterodichogamy and similar patterns
across angiosperms. Bot J Linn Soc 193:5–18. doi: 10.1093/botlinnean/boaa001

Faegri K, Van Der Pijl L (1979) The principles of pollination ecology. Oxford: Pergamon
Press

Fernandes EC, Ferreira ADCL, Araújo EL, Costa EM, Molina-Rugama AJ (2013) Insectos
visitantes de flores de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae) en una región de Caatinga en
el Brasil. Revista Caatinga 26:16-20

Forup ML, Henson KS, Craze PG, Memmott J (2008) The restoration of ecological
interactions: plant–pollinator networks on ancient and restored heathlands. J App Eco
45:742-752

Frankel R, Galun E (1977) Pollination Mechanisms, Reproduction and Plant Breeding.
Springer-Verlag, New York

Galil J, Zeroni M (1967) On the pollination of *Zizuphus spina-christi* (L.) Willd in Israel.
Israel J Bot 16:71-77

Giuliatti NM, Rodrigues ABM, Jesus ES, Junior AP (2019) Variabilidade da precipitação
mensal e anual no município de Paragominas-PA. Enciclopédia Biosfera, Centro Científico
Conhecer - Goiânia, 16:1716-1730. doi: 10.18677/EnciBio_2019A133

Gotelli MM, Galati BG, Zarlavsky G, Medan D (2018) Structure of the style and pollen tube
pathway in the Ziziphoid and Rhamnoid clades of Rhamnaceae. Protoplasma 255:501-515.
doi: 10.1007/s00709-017-1167-z

Harris JG, Harris MW (2001) Plant identification terminology: An illustrated glossary. 2 ed. Spring Lake, Spring Lake Publishing

Inmet (2021) Instituto Nacional de Meteorologia. <http://www.inmet.gov.br/climatologia>. Accessed 03 April 2021

Lima RB, Giuliatti AM (2005) Rhamnaceae. In: Wanderley MGL, Shepherd GJ, Melhem TS, Martins SE, Kirizawa M, Giuliatti AM (eds) Flora Fanerogâmica do Estado de São Paulo. Instituto de Botânica, São Paulo, pp 331-342

Lloyd DC, Webb CJ (1986) The avoidance of interference between the presentation of pollen and stigmas in angiosperms I. Dichogamy. *N Z J Bot* 24:135-162. doi: 10.1080/0028825X.1986.10409725

Medan D (1991) Reproductive phenology, pollination biology, and gynoecium development in *Discaria americana* (Rhamnaceae). *N Z J Bot* 29:31-42. doi:10.1080/0028825X.1991.10415541

Medan D, Schirarend C (2004) Rhamnaceae. In: Kubitzki K (ed.) Flowering Plants – Dicotyledons, Springer, Berlin, Heidelberg, pp 320–338

Medan D, D'Ambrogio A (1998) Reproductive biology of the andromonoecious shrub *Trevoa quinquenervia* (Rhamnaceae). *Bot J Linn Soc* 126:191-206. doi: 10.1111/j.1095-8339.1998.tb02526.x

Medan D, Vasellati V (1996) Nonrandom mating in *Discaria americana* (Rhamnaceae). *Plant Syst Evol* 201:233–241. doi:10.1007/BF00989064

Medan D (2003) Reproductive Biology of the Andean Shrub *Discaria nana* (Rhamnaceae). *Plant Biol* 5:94-102. doi: 10.1055/s-2003-37980

- Medan D, Arce ME (1999) Reproductive biology of the Andean-disjunct genus *Retanilla* (Rhamnaceae). *Plant Syst Evol* 218:281-298. doi: 10.1007/BF01089232
- Medan D, Devoto M (2017) Ambophily, not entomophily: the reproduction of the perennial *Discaria chacaye* (Rhamnaceae: Colletieae) along a rainfall gradient in Patagonia, Argentina. *Plant Syst Evol* 303:841-851. doi: 10.1007/s00606-017-1417-8
- Medan D, Castillo CG, Zarlavsky G (2015) Floral biology of *Adolphia infesta* and the reproductive profile of Colletieae (Rhamnaceae). *J Pollinat Ecol* 16:82-90
- Medan D (1994) Reproductive biology of *Frangula alnus* (Rhamnaceae) in southern Spain. *Plant Syst Evol* 193:173-186. doi: 10.1007/BF00983549
- Medan D, Ponessa G (2003) Movement-assisted dichogamy in *Atamisquea emarginata* (Capparaceae). *Plant Syst Evol* 236:195-205. doi: 10.1007/s00606-002-0241-x
- Medan D, Torretta JP (2015) The reproduction of *Colletia hystrix* and late-flowering in *Colletia* (Rhamnaceae: Colletieae). *Plant Syst Evol* 301, 1181–1189. doi: 10.1007/s00606-014-1142-5
- Medan D, Zarlavsky G, Bartoloni NJ (2013) Plant reproduction in the high-Andean puna: *Kentrothamnus weddellianus* (Rhamnaceae: Colletieae). *Plant Syst Evol* 299:841-851. doi: 10.1007/s00606-013-0766-1
- Menz MHM, Phillips RD, Winfree R, Kremen C, Aizen MA, Johnson SD, Dixon KW (2011) Reconnecting plants and pollinators: challenges in the restoration of pollination mutualisms. *Trends In Plant Sci* 16:4-12. doi: 10.1016/j.tplants.2010.09.006men
- Morais DJG, Freitas GP, Ferreira BHS, Souza CS, Sigrist MR. 2017. *Gouania lupuloides* (Rhamnaceae) em remanescente urbano de Cerrado: andromonoiccia e polinização

generalista. In: Anais do XI Encontro de Botânicos do Centro-oeste (R Arruda, coord.). Scientific Electronic Archives, Mato Grosso, v. 9, pp. 305-308

Nadia TC, Machado IC, Lopes AV (2007) Fenologia reprodutiva e sistema de polinização de *Ziziphus joazeiro* Mart. (Rhamnaceae): atuação de *Apis mellifera* e de visitantes florais autóctones como polinizadores. Acta bot bras 21:835-845. doi: 10.1590/S0102-33062007000400008

Newstrom LEG, Frankie GW, Baker HG (1994a) A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest at La Selva, Costa Rica. Biotropica 26:141-159. doi: 10.2307/2388804

Newstrom LEG, Frankie GW, Baker HG, Colwell RK (1994b) Diversity of long-term flowering patterns. In: L.A. Mcdade et al. (Eds.) La Selva: ecology and natural history of a neotropical rain forest. University of Chicago Press, Chicago, pp 142-160

Pannell JR, Verdú M (2006) The evolution of gender specialisation from dimorphic hermaphroditism: paths from heterodichogamy to gynodioecy and androdioecy. Evolution 60:660–673. doi: 10.1554/05-481.1

Pendleton RL, Freeman DC, McArthur ED, Sanderson SC (2000) Gender specialization in heterodichogamous *Grayia brandegei* (Chenopodiaceae): evidence for an alternative pathway to dioecy. Am J Bot 87:508-516. doi: 10.2307/2656594

Pool A (2014) Taxonomic Revision of *Gouania* (Rhamnaceae) for North America. Ann Mo Bot Gard 99:490-552 doi: 10.3417/2013016

Powo (2021) Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens. <http://www.plantsoftheworldonline.org>. Accessed 03 April 2021

- Radford AE, Dickson WC, Masey JR, Bell CR (1974) Vascular plant systematics. New York: Harper & Row Publ
- Ramirez N (1993) Produccion y Costo de Frutos y Semillas entre formas de vida. *Biotropica* 25:46-60. doi: 10.2307/2388978
- Renner SS (2001) How common is heterodichogamy? *Trends Ecol Evol.* 16:595-597. doi: 10.1016/S0169-5347(01)02280-7
- Rodrigues TE, Silva RC, Silva JML, Oliveira Júnior RC, Gama JRNF, Valente MA (2003) Caracterização e classificação dos solos do município de Paragominas, Estado do Pará. Embrapa Amazônia Oriental, Belém
- Rodriguez-Riano T, Dafni A (2000) A new procedure to assess pollen viability. *Sex Plant Reprod* 12:241-244. doi: 10.1007/s004970050008
- Stout AB (1928) Dichogamy in flowering plants. *Bull Torrey Bot Club* 55:141-153. doi: 10.2307/2480605
- Sistema de Informação sobre a Biodiversidade Brasileira, SiSBBR, 2020. Registros de ocorrências de *Gouania cornifolia* Reissek. <https://ala-bie.sibbr.gov.br/ala-bie/species/391685#records>. Accessed 10 April 2020
- Tel-Zur N, Schneider B (2009) Floral biology of *Ziziphus mauritiana* (Rhamnaceae). *Sexual plant reproduction* 22: 73-85
- Ye Z-M, Jin X-F, Yang J, Wang Q-F, Yang C-F (2019) Accurate position exchange of stamen and stigma by movement in opposite direction resolves the herkogamy dilemma in a protandrous plant, *Ajuga decumbens* (Labiatae). *AoB Plant* 11:1-6. doi: 10.1093/aobpla/plz052

Wang Q, Huang Y, Wang Z, El-Kassaby YA, Guan W (2017) Fruit shape and reproductive self and cross compatibility for the performance of fruit set in an andromonoecious species: *Xanthoceras sorbifolium* Bunge. *Tree Genet Genomes* 13:1-9. doi: 10.1007/s11295-017-1198-9

Webb CJ (1985) Protandry, pollination, and self-incompatibility in *Discaria toumatou*. *N Z J Bot* 23:331-335. doi: 10.1080/0028825x.1985.10425335

Webb CJ, Lloyd DG (1986) The avoidance of interference between the presentation of pollen and stigmas in angiosperms II. Herkogamy. *N Z J Bot* 24:163-178. doi: 10.1080/0028825X.1986.10409726

Weekley CW, Race T (2001) The breeding system of *Ziziphus celata* Judd and D. W. Hall (Rhamnaceae), a rare endemic plant of the Lake Wales Ridge, Florida, USA: Implications for recovery. *Biol Conserv* 100:207-213. doi: 10.1016/S0006-3207(01)00024-6

Zietsman PC, Botha FC (1992) Flowering of *Ziziphus mucronata* subsp. *mucronata* (Rhamnaceae): anthesis, pollination and protein synthesis. *Bot Bull Academia Sinica* 33:33-42

FIGURES

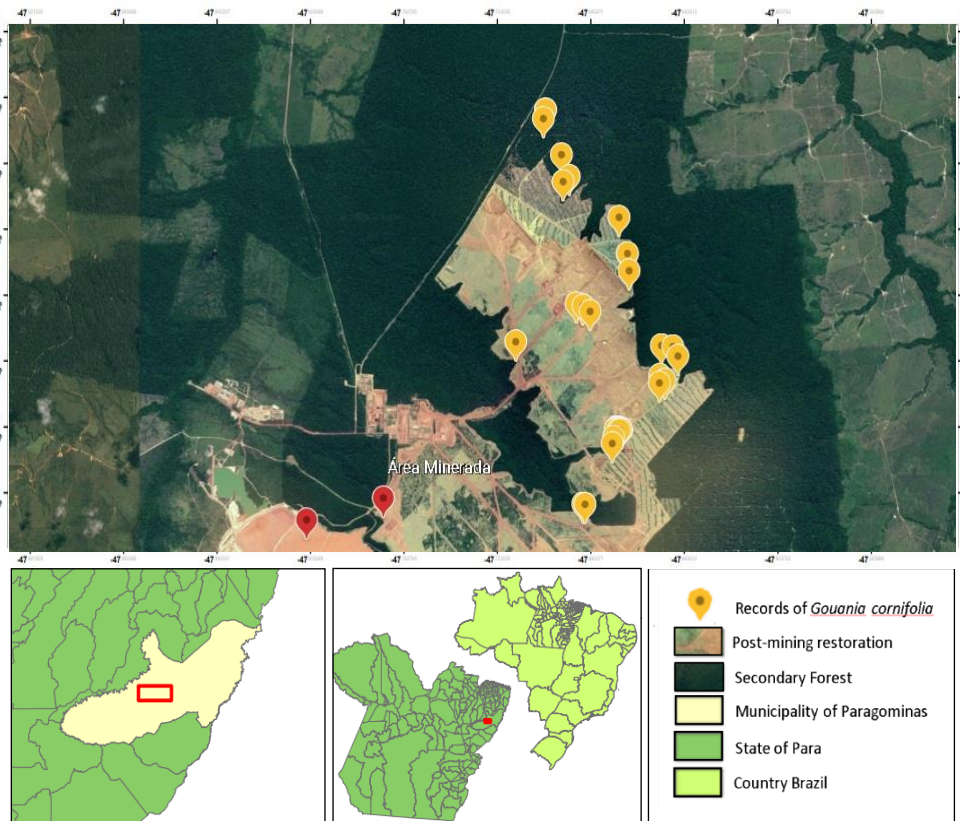


Fig. 1 Location Map of the areas of floral biology studies of *Gouania cornifolia* Reissek (Rhamnaceae) in the post-mining restoration of bauxite in the Eastern Amazon, Paragominas municipality, Pará, Brazil



Fig. 2 Study site. **(a)** Horizontal vision of the restoration area landscape highlighting the vegetation shrub structure, **(b)** Detail of pioneer habit of the species, covering the soil in bauxite post-mining restoration areas in Brazilian eastern Amazon, **(c)** Racemiform thyrses composed of small, multi-flowered cymes, **(d)** *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae) cymes, with inconspicuous light yellow-green bisexual and staminate flowers. Paragominas, Pará, Brazil

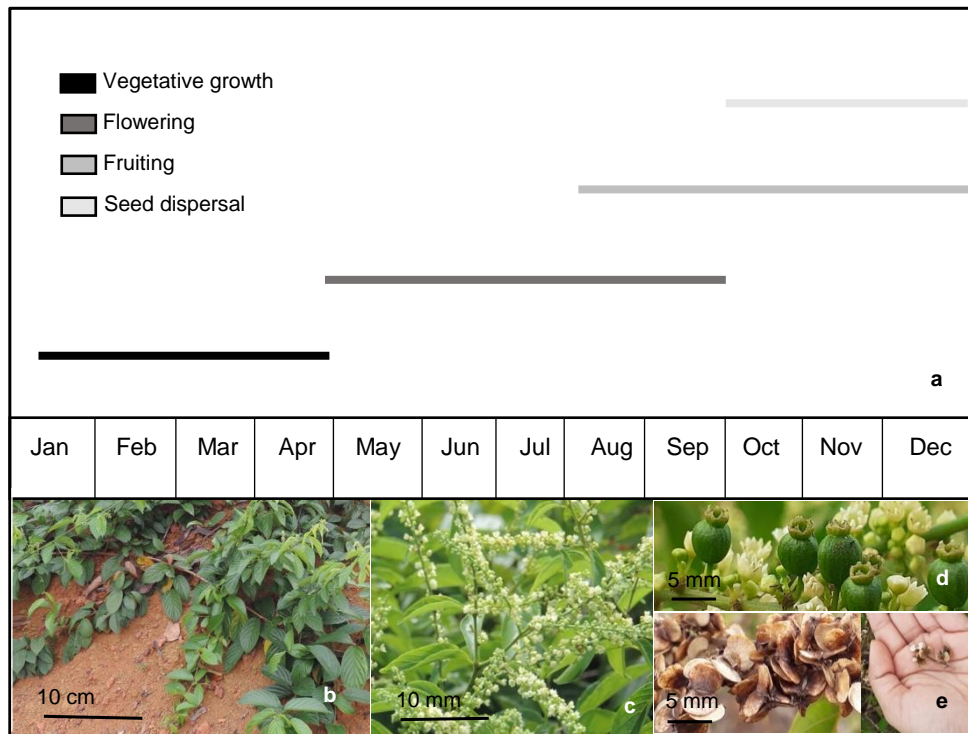


Fig. 3 Reproductive phenology of *Gouania cornifolia* in the post-mining restoration area, eastern Amazon, municipality Paragominas, Pará, Brazil. **(a)** Phenogram of the occurrence of reproductive phenophases during the months of the year 2019, **(b)** the vegetative phase of the individuals, **(c)** individuals in flowering season, **(d)** developing fruits, **(e)** pre-dispersion, dried and winged fruits

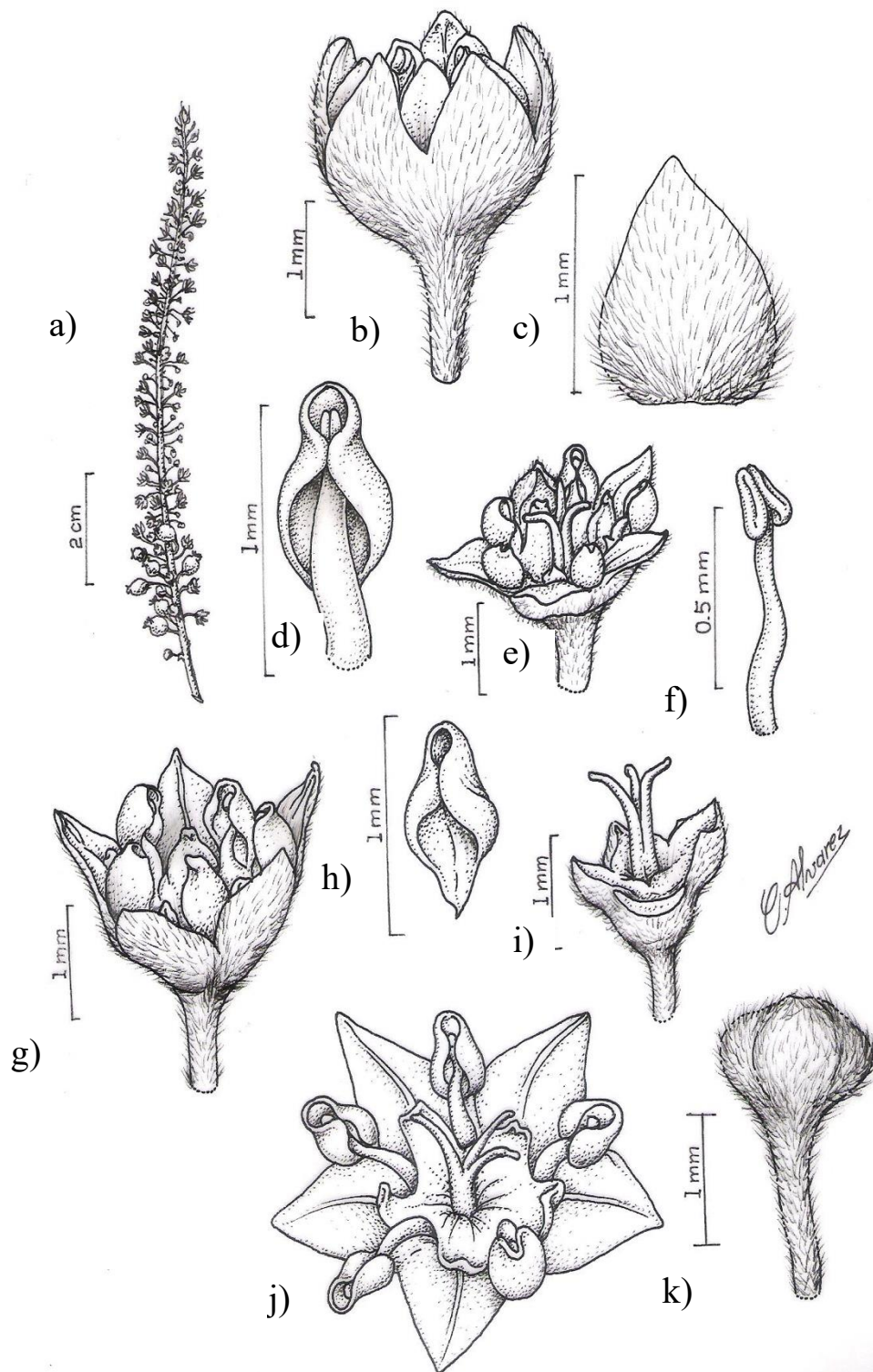


Fig. 4 *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae) plate. (a) multi-flowered cymes, (b) pedicellate flower at the beginning of anthesis, (c) sepal, (d) petals curved over the stamens, (e) bisexual flower with distended stigma, (f) filantherous stamens, (g) staminate flower in parcial

opening, **(h)** petal curved forming a hood, **(i)** trilobed stigma, **(j)** actinomorphic flowers with nectariferous disc at the base of the floral whorl, **(k)** floral bud. Illustrator: C. Álvarez

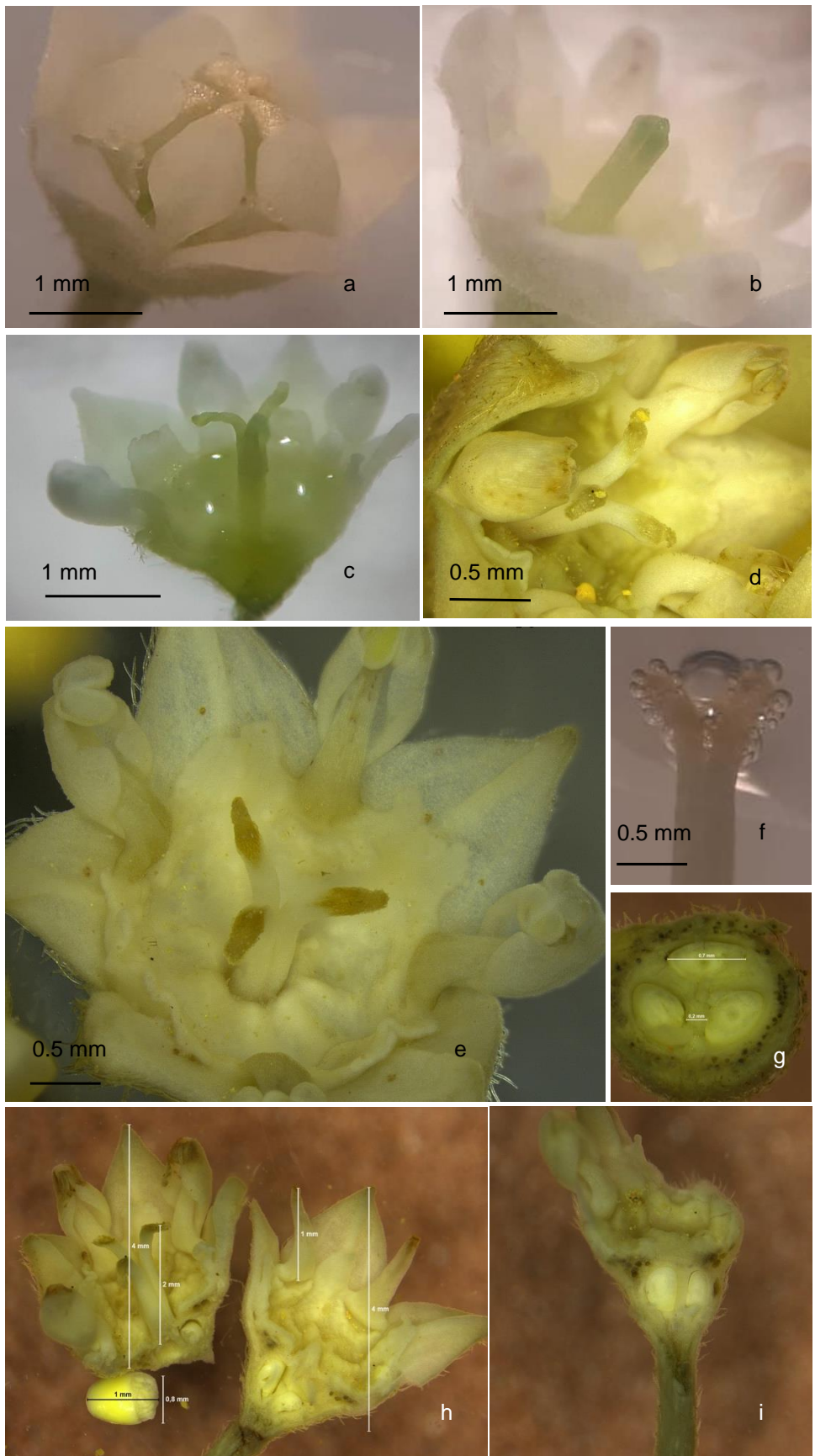


Fig. 5 Bisexual flowers of *Gouania cornifolia*. **(a)** and **(b)** male phase, **(c)** **(d)** **(e)** and **(f)** female phase of protandric flower, **(a)** petals and stamens perpendicular to the floral receptacle with exposure of pollen grains, **(b)** petals at the same level as the sepals, with straightened style and no open stigma lobes; **(c)** open and receptive stigma lobes, **(d)** detail of the receptive stigma with pollen grains attached to the tip of the stigma, **(e)** petals and stamens moved outwards, until they reach the same level as the sepals, making way for pollen deposition during the female phase, **(f)** stigmatic receptivity verified by the hydrogen peroxide test (presence of bubbles), **(g)** detail of tricarpelar and trilocular inferior ovary in transversal section, **(h)** detail of membranous and striate nectariferous disc in longitudinal section of the ovary, **(i)** detail of tricarpelar and trilocular inferior ovary in longitudinal section. Paragominas, Pará, Brazil

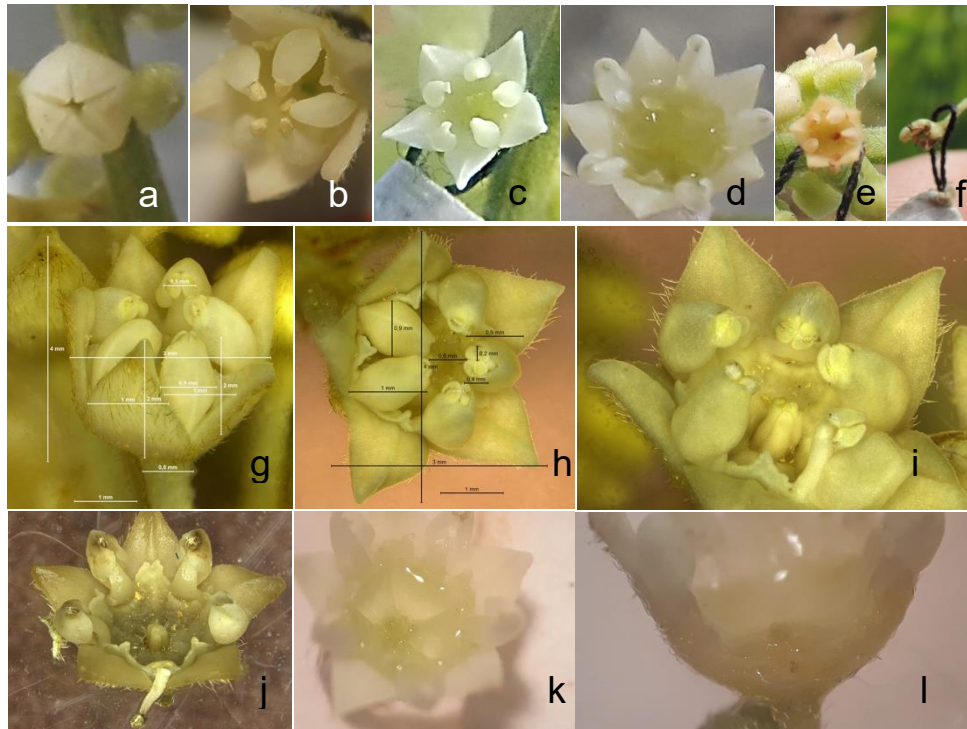


Fig. 6 Staminate flowers of *Gouania cornifolia*. **(a-f)** Field images of the phenological phases of staminate flowers, **(g-l)** optical stereo microscope images of flowers preserved in 70% alcohol, **(a-c, g-h)** beginning of anthesis, **(d)** petals and stamens in the same level as the sepals, **(e-f)** senescent flowers, **(i)** flower in exposing the detail of the vestigial style, **(j)** senescent flowers, **(k-l)** frontal and longitudinal section view of the flower to show the presence of staminate flowers with missing vestigial pistil. Paragominas, Pará, Brazil

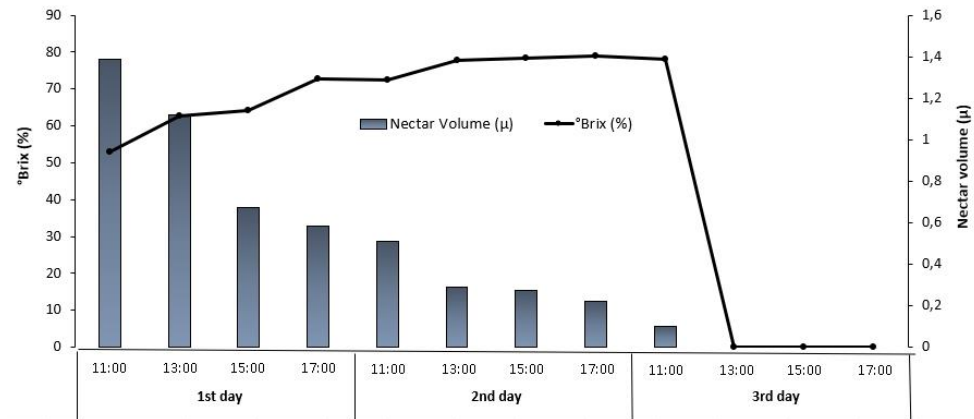


Fig. 7 The average production of nectar (μl) and nectar sugar concentration (% brix) in three different floral stages (one, two and three days-old flower) of *Gouania cornifolia*. Paragominas, Pará, Brazil

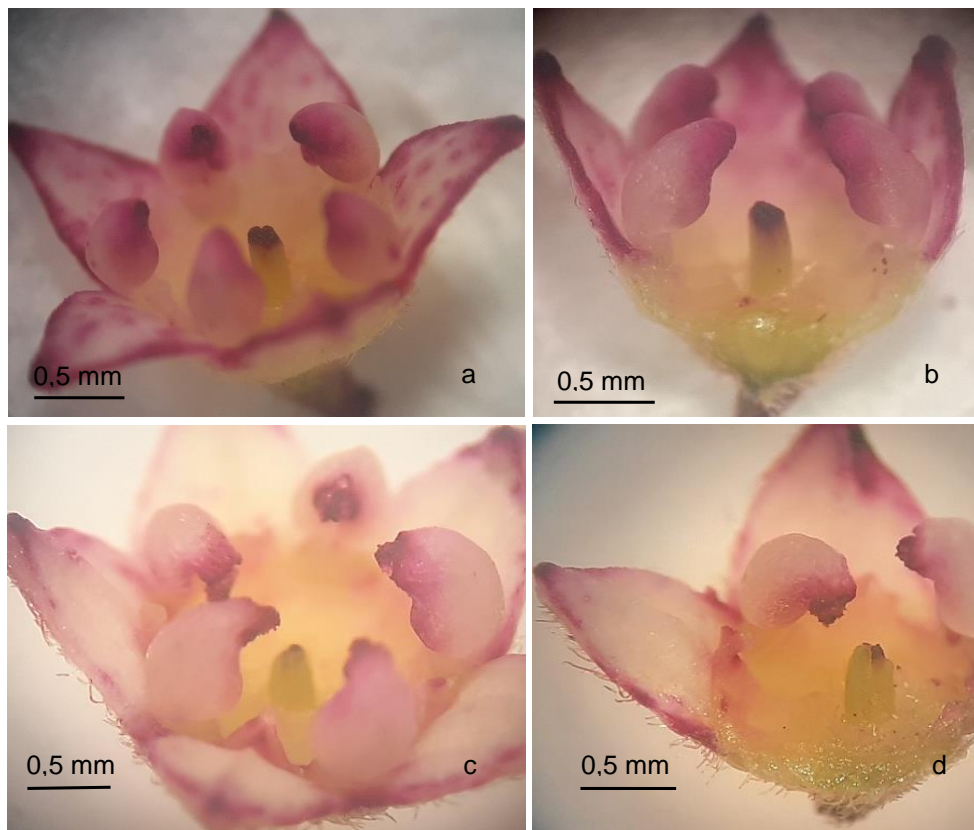


Fig. 8 Odor glands (osmophores) in *Gouania cornifolia* (Rhamnaceae) flowers on the first day after anthesis. **(a-b)** Whole flower and details of the cross section of the whorls showing higher concentration of osmophores in the anthers, stigmas and edges of sepals and petals in bisexual flowers, **(c-d)** Whole flower and details of the cross section showing higher concentration of osmophores in the anthers and edges of sepals and petals in staminate flower. Paragominas, Pará, Brazil