

**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA – PPGBOT**

**CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* (KUNTH) MCVAUGH) E SEUS POLINIZADORES:
PRODUTIVIDADE, DIVERSIDADE E INTERAÇÕES NA AMAZÔNIA CENTRAL,
BRASIL**

GRACE ANNE COELHO FERREIRA

MANAUS, AMAZONAS

2020

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA – INPA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BOTÂNICA – PPGBOT

CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* (KUNTH) MCVAUGH) E SEUS POLINIZADORES:
PRODUTIVIDADE, DIVERSIDADE E INTERAÇÕES NA AMAZÔNIA CENTRAL –
BRASIL

Orientadora: Dra. Cristiane Krug (EMBRAPA-Amazônia Ocidental)

Co-orientador: Dr. Adrian Paul Ashton Barnett

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Botânica – PPGBot, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração Botânica.

Manaus, Amazonas

2020

Dissertação aprovada como requisito para a obtenção do título de Mestre em Ciências Biológicas, área de concentração em Botânica, do Programa de Pós-Graduação em Entomologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, pela comissão formada pelos doutores (as):

Dra. Gislene Almeida Carvalho Zilse

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Membro titular

Dra. Juliana Hipólito de Sousa

Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)

Membro titular

Dra. Maria Anália Duarte de Souza

Universidade Federal do Amazonas (UFAM)

Membro titular

FICHA CATALOGRÁFICA

F383c Ferreira, Grace Anne Coelho

Camu-camu (*Myrciaria* (Kunth) McVaugh) e seus polinizadores: Produtividade, diversidade e interações na Amazônia Central, Brasil / Grace Anne Coelho Ferreira; orientadora Cristiane Krug; coorientador Adrian Paul Ashton Barnett. --Manaus:[s.], 2020.

76 f.

Dissertação (Mestrado - Programa de Pós Graduação em Botânica) -- Coordenação do Programa de Pós-Graduação, INPA, 2020.

1. Camu-camu. 2. Fenologia. 3. Igapó. 4. Terra Firme. I. Krug, Cristiane , orient. II. Barnett, Adrian Paul Ashton , coorient. III. Título.

CDD: 580

AGRADECIMENTOS

Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia e ao Programa de Pós-Graduação em Botânica pelo espaço e oportunidade, além do auxílio financeiro.

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pela bolsa de mestrado concedida.

A Dra. Cristiane Krug pela orientação e disponibilidade para o desenvolvimento do projeto, além de todo o aprendizado e amizade.

Ao Dr. Adrian Barnett pela confiança depositada e apoio.

A Dra. Flávia Batista Gomes pelo auxílio em campo e em no laboratório.

Ao Dr. André Rech e a Dra. Cláudia Inês pela ajuda com toda parte palinológica.

A Dra. Maria Lúcia Absy e a Alyne por serem prestativas com a coleção palinológica do INPA.

Ao Dr. Marcio Luiz de Oliveira e ao Thiago Mahlmann Vitoriano Lopes Muniz do INPA, pela identificação das espécies de abelhas coletadas neste estudo.

Ao seu Neca por todo apoio em campo, no trabalho laboratorial e amizade.

Aos alunos do laboratório de entomologia da Embrapa Amazônia Ocidental por todo suporte, obrigada especialmente a Raquel, Janaína e Sara. Também ao Matheus por toda ajuda nas análises.

Ao seu José Ramos que me auxiliou na identificação das plantas coletadas neste estudo.

Por fim, a todos que seguraram minha mão de alguma forma ao longo desse processo, Alane Rafaela, Andrelysson, Jade, Hudson, Victor, Ramon, André, Marcela, Andreas, Vivian e Mauro, obrigada!

Não menos importante, agradeço aos meus pais Gracymar Ferreira e Gilmar Ferreira por todo amor e suporte ao longo desse projeto e em todos os passos que eu dou.

RESUMO

Espécies de interesse econômico e ecológico são o ponto crucial para estudos na região Amazonica, como é o caso de *Myrciaria dubia*, o camu-camu. Os frutos dessa espécie apresentam grande variedade de uso, a partir do qual podem ser obtidos diversos produtos alimentícios e cosméticos. O camu-camu está amplamente distribuído na Amazônia brasileira, ocorrendo naturalmente em ambientes alagados, nas margens de lagos e rios. Entretanto, foi introduzido com sucesso em cultivos de terra firme. O objetivo desse trabalho foi investigar aspectos fenológicos e rede de interações envolvendo os polinizadores de *Myrciaria dubia* e vegetação adjacente local em igapó e terra firme, visando gerar subsídios ao desenvolvimento sustentável e melhoramento da produção em terra firme. O projeto foi desenvolvido em dois locais: área de igapó (nativo) localizada na Chácara Mariju no município de Iranduba; área de terra firme (cultivo) localizada na KXX Agroindústria no município de Manacapuru, no Amazonas. Para avaliações fenológicas foram feitas visitas quinzenais durante treze meses (agosto/2018 a setembro/2019) para registro de dados de floração, frutificação e mudanças foliares. Foi feita a marcação de botões florais para e acompanhamento até o desenvolvimento do fruto, que foram colhidos, pesados e medidos. Para coleta dos visitantes de camu-camu e entorno foram feitas visitas mensais entre setembro/2018 e setembro/2019, com 5 coletas adicionais no auge da floração. Foram coletados ramos férteis das plantas do entorno para retirada de botões florais e removido o pólen do corpo dos visitantes para análise palinológica. *Myrciaria dubia* se desenvolve bem em terra firme, com dois ou mais picos de produção ao longo do ano, apresentando frutos durante todos os meses. Com relação às coletas, foram amostrados 4637 visitantes florais e 71 espécies de plantas. Destes, 4412 são abelhas e 225 insetos das ordens Coleoptera, Diptera, Hymenoptera e Lepidoptera. Com relação às abelhas, foram amostradas 104 espécies de três famílias (Apidae, Halictidae e Colletidae). *Myrciaria dubia* foi à espécie de planta mais utilizada pelas abelhas, sendo o recurso principal no auge de sua floração. As coletas e análises palinológicas indicam que o grupo de abelhas potenciais polinizadoras do camu-camu são as abelhas sem ferrão (representantes de *Melipona*, *Scaptotrigona* e *Friseomellita*) e a espécie exótica *Apis mellifera*.

PALAVRAS-CHAVE: Camu-camu, produção, polinização, igapó, terra firme.

ABSTRACT

Species of economic and ecological interest are the crucial point for studies in the Amazon region, as is the case of *Myrciaria dubia*, the camu-camu. The fruits of this species have a wide variety of uses, from which different food and cosmetic products can be obtained. Camu-camu is widely distributed in the Brazilian Amazon, occurring naturally in flooded environments, on the banks of lakes and rivers. However, it has been successfully introduced to crops in dry land. The aim of this work was to investigate phenological aspects and network of interactions involving pollinators from *Myrciaria dubia* and local adjacent vegetation in igapó (seasonally-flooded forests on the banks of black-water rivers) and terra firme (dry land), in order to generate subsidies for sustainable development and improvement of production on terra firme. The project was developed in two locations: igapó (native) area located in Chácara Mariju in the municipality of Iranduba; terra firme (cultivation) area located at KXX Agroindustry in the municipality of Manacapuru, Amazonas. For phenological evaluations, fortnightly visits were made for thirteen months (August 2018 to September 2019) to record data on flowering, fruiting and leaf changes. Flower buds were marked for and accompanying until the development of the fruit, which were harvested, weighed and measured. To collect visitors from camu-camu and surroundings, monthly visits were made between September 2018 and September 2019, with 5 additional collections at the height of flowering. Fertile branches were collected from surrounding plants to remove flower buds and pollen was removed from the visitors' bodies for palynological analysis. *Myrciaria dubia* grows well on dry land, with two or more peaks in production throughout the year, showing fruit during all months. Regarding collections, 4637 floral visitors and 71 plant species were sampled. Of these, 4412 are bees and 225 insects of the orders Coleoptera, Diptera, Hymenoptera and Lepidoptera. Regarding bees, 104 species from three families (Apidae, Halictidae and Colletidae) were sampled. *Myrciaria dubia* was the species of plant most used by bees, being the main resource at the height of its flowering. Collects and palynological analyzes indicate that the group of potential pollinating bees on camu-camu are stingless bees (representatives of *Melipona*, *Scaptotrigona* and *Friseomellita*) and the exotic specie *Apis mellifera*.

KEYWORDS: Camu-camu, production, pollination, igapó, terra firme.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. OBJETIVO GERAL	4
2.1 Objetivos específicos	4
CAPÍTULO 1 - Phenology and productivity of camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i> (Kunth) McVaugh) in natural populations and plantations in Central Amazonian Brazil.	5
CAPÍTULO 2 - Visitantes florais e redes de interações entre abelhas-flores do camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i> (Kunth) McVaugh) e vegetação adjacente em duas áreas na Amazônia Central, Brasil.....	37
3. CONCLUSÃO GERAL	75
4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	76

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Table 1. Correlation between the activity level (synchrony) of native and cultivated camu-camu population with abiotic environmental variables, from August 2018 to September 2019.....	20
Table 2. Weight and diameter of fresh fruits; number of seeds per fruit for camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>) collected in igapó. CV: coefficient of variation...	21
Table 3. Weight and diameter of fresh fruits; number of seeds per fruit for camu-camu (<i>Myrciaria dubia</i>) collected in terra firme. CV: coefficient of variation...	21

CAPÍTULO 2

Tabela 1. Abelhas visitantes florais em camu-camu e vegetação adjacente em população nativa/Iranduba e cultivo/Manacapuru, entre Setembro/2018 e Setembro/2019.....	44
Tabela 2. Famílias, espécies de plantas e número total de abelhas visitantes florais coletadas no entorno das populações de camu-camu nativo/Iranduba e cultivo firme/Manacapuru, entre setembro/2018 e outubro/2019.....	49
Tabela 3. Métricas da rede de interações do camu-camu e plantas adjacentes de ambiente nativo e cultivo.....	54
Tabela 4. Tipos polínicos encontrados em visitantes florais de <i>Myrciaria dubia</i> e entorno em população nativa e cultivo, e o tipo de classificação do pólen.....	56
Tabela 5. Abundância de visitantes e presença de pólen em <i>Myrciaria dubia</i>	61

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO 1

- Figure 1.** A: Camu-camu at Manacapuru, showing reproductive structures. A: Adult plant; B: Flower; C: Mature fruit. Photos: Cristiane Krug..... 10
- Figure 2.** Número de indivíduos e espécies amostrados em camu-camu e plantas do entorno entre setembro/2018 e setembro/2019. A: Nativo/Iranduba; B: Cultivo/Manacapuru..... 11
- Figure 3.** Native population of Camu-camu at Chácara Mariju, Iranduba, central Amazonian Brazil. A: *Low water*; B: *High water*. Photos: Cristiane Krug..... 12
- Figure 4.** Camu-camu plantation in terra firme at KXX Agroindústria, Manacapuru. Photos: Cristiane Krug..... 13
- Figure 5.** Phenology with total percentage and Fournier Index for flower buds between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru)..... 16
- Figure 6.** Phenology with total percentage and Fournier Index for flowering between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru)..... 16
- Figure 7.** Phenology with total percentage and Fournier Index for green fruit between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru)..... 17
- Figure 8.** Phenology with total percentage and Fournier Index for ripe fruit between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru)..... 18
- Figure 9.** Phenology with total percentage and Fournier Index for dispersing fruits between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru)..... 19

Figure 10. Phenology, with total percentage and Fournier Index for defoliation, between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firma. A: Igapó, Iranduba; B: Terra firme, Manacapuru; <i>NL: new leaves, ML: mature leaves, PD: partial defoliation</i>	20
Figure 11. Weight and diameter of camu-camu fruits colleted in Igapó (Iranduba) and Terra Firme (Manacapuru), central Amazonian Brazil.....	22
Figure 12. Number of seeds in camu-camu fruits collected in Igapó (Iranduba) and Terra Firme (Manacapuru), central Amazonian Brazil.....	22

CAPÍTULO 2

Figura 1. : Localização da área de estudo do camu-camu, delimitada em amarelo. A: População nativa Chácara Mariju/Iranduba; B: Cultivo KXK Agroindústria/Manacapuru. Fonte: Modificado de Google Earth.....	40
Figura 2. Número de indivíduos e espécies amostrados em camu-camu e plantas do entorno entre setembro/2018 e setembro/2019. A: Nativo/Iranduba; B: Cultivo/Manacapuru.....	48
Figura 3. Rede de interação planta-abelha do camu-camu e vegetação adjacentes em ambiente natural/igapó entre setembro/2018 e setembro/2019. A coluna da esquerda representa às plantas e a coluna da direita as abelhas. A espessura da linha de cada espécie representa a abundância e a espessura das linhas que conectam os dois grupos revela a força de interação quantitativa das conexões.....	52
Figura 4. Rede de interação planta-abelha do camu-camu e vegetação adjacentes em cultivo/terra firme entre setembro/2018 e setembro/2019. A coluna da esquerda representa às plantas e a coluna da direita as abelhas. A espessura da linha de cada espécie representa a abundância e a espessura das linhas que conectam os dois grupos revela a força de interação quantitativa das conexões.....	53
Figure 5. Rede de interações visitantes-pólenes do camu-camu e vegetação adjacente em ambiente nativo/igapó no auge da floração. A coluna da esquerda representa às espécies de abelhas e a coluna da direita os tipos polínicos presentes.....	59

Figure 6. Rede de interações visitantes-pólenes do camu-camu e vegetação adjacente em cultivo/terra firme no auge da floração. A coluna da esquerda representa às espécies de abelhas e a coluna da direita os tipos polínicos presentes..... 60

1. INTRODUÇÃO GERAL

As relações entre animais e plantas existem há milhões de anos e todas as espécies atuais tem alguma relação interespecífica em determinado momento do seu ciclo de vida (Dáttilo et al. 2009). Dessa forma, a história evolutiva da biodiversidade está fundamentada nas relações entre diferentes tipos de organismos (Thompson, 1999). Com os processos evolutivos e o passar do tempo, animais e plantas coevoluíram em diversos sistemas interativos, como a herbívora, mutualismo, predação e dispersão de sementes, polinização e competição (Del-Claro e Torezan-Silingardi, 2012).

As angiospermas são as plantas dominantes globalmente, e a polinização e fecundação são processos indispensáveis no seu ciclo reprodutivo (Nava et al. 2009). Grande parte das espécies desse grupo é polinizada por animais, principalmente insetos, agentes que atuam aumentando o sucesso da polinização cruzada e contribuindo para a radiação e diversificação dessas plantas (Del-Claro e Torezan-Silingardi, 2012; Ollerton et al. 2011). Essa importante relação animais-plantas é expressa por meio das flores, que desenvolveram características atrativas para os animais (Raven, 2007).

A polinização mediada por animais tem caráter mutualista e fornece benefícios para ambas as espécies envolvidas, consistindo em uma das mais influentes interações biológicas (Machado et al. 2005). Essas fortes interações garantiram as plantas o sucesso da polinização cruzada, permitindo novas combinações de fatores hereditários, aumento da produção de frutos e sementes, e também melhor qualidade desses frutos (Giorgini e Gusman, 1972). As abelhas são animais especialmente dependentes dos recursos florais, sendo importantes polinizadores polinizador (James e Pitts-Singer, 2008). Assim, as abelhas e outros insetos têm como vantagem a obtenção de recursos alimentares (pólen, néctar e óleos), e em alguns casos, material para construção de abrigos e ninhos ou até mesmo substâncias precursoras de feromônios sexuais (Pinheiro, 2014).

Existem também aquelas relações entre animal-planta (flor) que não são benéficas para algum dos envolvidos. A pilhagem ou roubo consiste na capacidade de animais, pássaros ou insetos, coletarem recursos como néctar, pólen e óleos ofertados pelas plantas, mas não promovem a polinização (Milet-Pinheiro, 2006). Há ainda a chamada polinização por engano, em que a planta produz uma imitação química, tátil ou visual de um recurso, atraindo o agente polinizador, mas não lhe entrega nada em troca (Inouye, 1980; Pinheiro 2014). Para separar

polinizadores e pilhadores é importante observar e analisar o comportamento dos visitantes florais, avaliando sua colaboração ou não no sucesso reprodutivo da planta.

No contexto geral, cada espécie desempenha uma função dentro do ecossistema que é importante para outras espécies da comunidade e para o ambiente (Ricklefs, 2010). Aquelas funções que são também importantes para os humanos são definidas como serviços ecossistêmicos (Andrade e Romeiro, 2009). Diversas interações se encaixam nesses serviços, como é o caso da polinização. Portanto, é importante se atentar para as espécies, populações e comunidades naturais, mas também às interações entre elas e suas funções (Del-Claro e Torezan-Silingardi, 2012).

A Amazônia é ecologicamente importante por sua extensão e grande diversidade (Ayres e Best, 1979), onde as relações interespecíficas são comuns. A região abriga diversas angiospermas que produzem frutos comestíveis (Carvalho e Müller, 2005), e que são polinizadas por animais, apresentando, portanto, interesse econômico e ecológico. Os recursos obtidos a partir dessas interações fundamentais são importantes também às populações humanas, ou seja, são serviços ecossistêmicos, explorados para subsistência e a nível comercial, como é o caso da borracha, cuja comercialização gerou 7.8 milhões de reais em 2011 (Barros e Trindade, 2017).

A extração de produtos madeireiros já é consolidada na Amazônia e tem importante papel na economia (Homma, 2011). O uso de madeira em tora acontece com diversas espécies, como por exemplo, *Buchenavia tetraphylla* (Aubl.) R. A. Howard; *Anacardium giganteum* W. Hancock ex Engl; *Aspidosperma oblongum* A. D. C; *Copernicia prunifera* (Mill.) H. E. Moore; *Caryocar villosum* (Aubl.) Pers (INPA, 2018). Recentemente, a extração dos produtos não madeireiros vem ganhando espaço por seu potencial e versatilidade de mercado (Fiedler et al. 2008). Com isso, diversas espécies encontradas na região passaram a ser consumidas em todo o país e até mesmo no exterior, como é o caso do açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), babaçu (*Attalea speciosa* Mart.), castanha-do-brasil (*Bertholletia excelsa* Bonpl.), copaíba (*Copaifera multijuga* Hayne) e buriti (*Mauritia flexuosa* L.f.).

O crescimento no consumo de produtos secundários da floresta gera a necessidade de aumentar a produção com maior disponibilidade para o mercado local, nacional e internacional. Nesse contexto, o modelo de desenvolvimento sustentável tem crescido nos últimos anos, buscando encontrar o ponto de equilíbrio entre o uso dos recursos naturais e o desenvolvimento das comunidades que os utilizam (Enríquez, 2008). Para Sachs (1993) o

benefício gerado a partir de produtos de biodiversidade faz com que as populações locais se preocupem em preservar essa biodiversidade.

Algumas espécies da Amazônia já têm produção por desenvolvimento sustentável, promovendo a o uso de recursos naturais através da sua conservação. Por exemplo, o açaí nos últimos anos tem proporcionado retorno para populações locais do Pará devido a novas tecnologias de manejo e de cultivo racional (Silva et al. 2006). A produção do buriti também é importante por ser realizada principalmente por comunidades amazônicas, onde o trabalho é dividido e essas comunidades atuam desde a colheita do fruto até sua comercialização (Lima et al. 2013).

Por outro lado, para aperfeiçoar qualquer tipo de produção e exploração comercial é necessário elucidar os conhecimentos botânicos fundamentais, como aspectos da fenologia, biologia reprodutiva e impactos ecológicos. Este trabalho abordou aspectos da fenologia que avalia a ocorrência de eventos biológicos repetitivos nas plantas e suas causas, que ajudam a compreender a regeneração, reprodução, organização temporal dos recursos e interação planta-animal (Talora e Morellato, 2000). Também foram utilizadas redes de interação que são uma forma de representação deas relações entre plantas e insetos na comunidade e são importantes para descrever os processos, estruturas e generalizações das relações (Rocha-Filho et al. 2012).

Nossa espécie de interesse foi *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh), o camu-camu. Essa espécie apresenta grande variedade de uso, principalmente com relação ao fruto, a partir do qual podem ser obtidos diversos produtos alimentícios e cosméticos (Barros et al. 2018). Mesmo assim, existem poucos estudos sobre sua biologia, ecologia e métodos de manejo, sendo esses concentrados principalmente no Peru (Lima, 2009), onde existe exploração comercial destes frutos.

O camu-camu possui grandes concentrações de ácido ascórbico (1600 a 2900 mg/100g), 20 vezes mais do que é encontrado na acerola e até 100 vezes mais do que no limão (Vidigal et al. 2011). Possui também β -carotenos, compostos fenólicos, alguns aminoácidos e minerais, além disso, estudos indicam que pode ajudar a reduzir o risco de várias doenças crônicas (Morais e Pinheiro, 2018). A partir da polpa podem ser preparados sucos, sorvetes, licores e doces (Teixeira et al. 2004). Apresenta também ação antioxidante e vem sendo utilizado em cremes hidratantes, shampoos, condicionadores e diversos cosméticos (Silva e Oliveira, 2018). Portanto, o alto potencial econômico do fruto deve-se à sua

importância na alimentação, farmacologia, cosmetologia e diversas áreas, sendo o fruto utilizado para produção dos mais variados produtos.

2. OBJETIVO GERAL

Investigar aspectos fenológicos e rede de interações envolvendo os polinizadores de *Myrciaria dubia* e vegetação adjacente local em igapó e terra firme, visando gerar subsídios ao desenvolvimento sustentável e melhoramento da produção em terra firme.

2.1 Objetivos específicos

- a) Analisar os aspectos fenológicos de *Myrciaria dubia* em ambiente alagado (nativo) e terra firme (cultivo) para comparar o período e intensidade da frutificação.
- b) Avaliar diferenças e semelhanças na composição da comunidade de polinizadores e plantas do entorno nos dois ambientes buscando contribuir com um plano de manejo destinado a produtores locais.
- c) Comparar os tipos polínicos do corpo das abelhas com banco de dados, para verificar quais espécies de são potenciais polinizadores do camu-camu no auge da floração, em igapó e terra firme.

CAPÍTULO 1

ESTUDO FENOLÓGICO E PRODUTIVO DE CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* (KUNTH) MCVAUGH) EM ÁREAS DE OCORRÊNCIA NATURAL E CULTIVO NA AMAZÔNIA-CENTRAL, BRASIL

PHENOLOGICAL AND PRODUCTIVITY COMPARISON OF CAMU-CAMU (*MYRCIARIA DUBIA* (KUNTH) MCVAUGH) IN NATURAL POPULATION AND PLANTATION IN CENTRAL AMAZONIAN BRAZIL

COMPARAÇÃO FENOLÓGICA E DE PRODUTIVIDADE DO CAMU-CAMU (*MYRCIARIA DUBIA* (KUNTH) MCVAUGH) EM POPULAÇÃO NATURAL E CULTIVO NA AMAZÔNIA-CENTRAL, BRASIL

GAC Ferreira^{1*}, APA Barnett¹, C Krug².

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Avenida André Araújo, 2936, Petrópolis, Manaus, Amazonas, Brasil.

² Embrapa Amazônia Ocidental, Rodovia AM-010, Km 29, Manaus, Amazonas.

*Autor para correspondência: graceanne7@gmail.com

RESUMO: *Myrciaria dubia* (Myrtaceae) é um arbusto que produz frutos com altas concentrações de ácido ascórbico (1600 a 2900 mg/100g), 20 vezes mais que a acerola e 100 vezes mais do que o limão. Nativo da região Amazônica é encontrado naturalmente as margens de lagos e rios, porém, já foi introduzido em terra firme. Neste trabalho foram feitas observações fenológicas e avaliação da frutificação em dois locais: igapó (nativo) e terra firme (cultivo), na Amazônia Central. Visitas quinzenais foram feitas entre agosto/2018 e setembro/2019, sendo registrados dados de floração, frutificação e desfolha. Já no auge da floração de 2018 foram marcados botões florais nos dois ambientes, que foram acompanhados até a maturação do fruto. Posteriormente, os frutos foram colhidos para biometria e contagem das sementes. A sincronia das fenofases foi maior em ambiente natural, tendo a espécie comportamentos distintos nos dois ambientes. Apesar de ser nativo de igapó, a produção de frutos em terra firme ocorreu durante todo o ano, sugerindo que há poucas restrições para o desenvolvimento do fruto em cultivo. A produção de frutos foi maior em ambiente natural e estes variaram de 1,01 a 2,73 cm em diâmetro e 1,14 a 10,87 g em peso.

Palavras-chave: Camu-camu, fenologia, frutificação, igapó, terra-firme

ABSTRACT: *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh (Myrtaceae) is a shrub that produces fruits with high concentrations of ascorbic acid (1600 to 2900 mg/100g): 20 times more than acerola and 100 times more than lemon. Native to the Amazon region, it occurs naturally on the seasonally-flooded banks of lakes and rivers. However, it has also been cultivated commercially on dry land. In this study, phenological observations and fruiting evaluation were carried out in two habitats: igapó (native) and terra firma (cultivation), in Central Amazonia. Biweekly visits were made between August, 2018, and September, 2019, with data on flowering, fruiting and defoliation begin collected. At the height of flowering in 2018, flower buds were marked in both environments, these were then tracked until fruit matured. Subsequently, fruits were harvested for biometrics and seed counting. Phenophase synchrony was greatest in the natural environment, with the species showing different behaviors in the two environments. Despite being native to igapó, fruit production on dry land occurred throughout the year, suggesting that there are few restrictions on fruit development for cultivation. Fruits varied from 1.01 to 2.73 cm in diameter and 1.14 to 10.87 g in weight, and their production was highest in the natural environment.

Key words: Camu-camu, phenology, fruting, igapó, terra-firme.

INTRODUCTION

The Amazon rainforest is an important center for global fruit species diversity (Chagas et al. 2014). Among these is camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh, Myrtaceae), which produces fruits with high concentrations of ascorbic acid (1600 to 2900 mg/100g), about 20 times more than acerola and up to 100 times more than lemons. It also contains β -carotenes, phenolic compounds, some amino acids and minerals (Barros et al. 2018; Vidigal et al. 2011). As a result, the pulp and various by-products have aroused interest in several commercial sectors (Yuyama 2002).

Myrciaria dubia is widely distributed in the Venezuelan, Peruvian, Colombian and Brazilian Amazon. In Brazil it is found in the states of Roraima, Amazonas, Amapá, Pará, Rondônia and Mato Grosso. It occurs naturally in seasonally-flooded environments, such as várzea or igapó (seasonally-flooded forests on the banks of, respectively, white- and black-water rivers), and on the banks of lakes (Maués and Couturier 2002). The species develops well in igapó, a habitat with poor soil and great environmental stresses, where it is partially or totally submerged for around five months of the year (Villachica 1996). Studies carried by Keel and Prance (1979) in igapó near Manaus, central Amazonas, found this species to be locally dominant, having the highest importance value of the study. This is indicative of the extensive natural camu-camu populations present in the region.

Camu-camu is a small shrubby tree, reaching up to 7 m in height (Fig. 1A) (Barros et al. 2018). The stem is glabrous, cylindrical, brown to light red in color; inflorescences are axillary, with several flowers exiting from the same point; flowers are hermaphroditic, polystemous, with white petals, and a pleasant sweet odor (Fig. 1B); the ovary is inferior (Maués and Couturier 2002; Rodrigues et al. 2001; Yuyama and Silva-Filho 2003). Anthesis occurs from approximately 05:00 onwards, and flowers can be found in the process of opening until 7:00; flowers last for a simple day, pollen grains are small when compared to other Myrtaceae, and have a dry, granular, surface (Maués and Couturier 2002). In natural populations flowering occurs when the water level is low and in such dry land areas, the species can flower all year round, allowing more extensive production (Rodrigues et al. 2001; Ribeiro et al. 2002)

Camu-camu fruits annually, the fruit is a rounded smooth and shiny berry, some 10 to 32 mm in diameter, with a red to purple hue when ripe (Fig. 1C) (Barros et al. 2018).

Working in Peru, Inga et al. (2001) reported that flowers develop in 15 days with fruit development requiring approximately 60 days. However, in Roraima, Bacelar-Lima et al. (2012) reported fruit ripening required up to 119 days. Fish are considered the main dispersers animals (Alves et al. 2002; Yuyama and Siqueira 1999). In native populations in Brazil, the fruit matures between January and April, with timing varying according to changes in water levels (Yuyama and Silva-Filho 2003). However, there is variability in the fruiting period in different locations and environments (Falcão et al. 1993; Souza et al. 2012).

In igapó fruit collection is done by hand, between January and April (Ribeiro et al. 2002; Yuyama and Silva-Filho 2003) with the period of rising waters, which complicates the harvest. In response, camu-camu has, with success, been grown as a crop in terra firme (never-flooded) land. Use of this habitat is considered to lead to better fruit management, as it does not depend on seasonal flood periods (Delgado et al. 2016; Maués and Couturier 2002). The largest production in South America is concentrated in Peru, which already operates exporting the fruit to countries in Europe, the United States and Japan. In Brazil, cultivation is still little explored and plantations are concentrated in Amazonas, Pará and São Paulo (Silva and Oliveira 2018).

Species native to igapó, such as camu-camu, show a suite of ecological, physiological and morphological adaptations to withstand extended flooding periods (Ferreira et al. 2005). During such periods oxygen supply in roots is often highly reduced and soil may become anoxic, on the other hand, those months when the river margins are dry (September to November), is also the dry season in this part of the Amazon, so that water scarcity can then limit plant growth, again requiring a specific series of anatomical and physiological adaptations (Parolin 2009). Additionally, the presence of naturally-occurring years of low rainfall in Amazonia (Schöngart and Junk 2007) means that igapó trees and shrubs must also be adapted to extended periods of non-inundation, reflected by their ability to tolerate drought (Parolin 2009). Thus, like many igapó species camu-camu has the potential to grow and survive in non-flooded habitats. This has been exploited when growing the species in terra firme plantations. However, effects of phenology, fruiting behavior and fruit yield remain unclear. Thus for the effective domestication of camu-camu in Brazil it is important to assess how the species behaves over time, and in these two different environments (Yuyama 2002), igapó and terra terra.

The phenological patterns of tropical species are generally associated with both biotic and abiotic factors, including, respectively, pollinator and disperser agents behavior, and rainfall and temperature (Marques et al. 2004). In this context, Farro et al. (2010) carried out a preliminary study on native populations of camu-camu on the margins of the Rio Amazonas, in Peru, which showed the influence of rainfall and temperature with the flowering and fall of the species fruits. Given the potential commercial importance of terra firme-based camu-camu plantations, both habitats were investigated in this study, and both abiotic and biotic factors considered.

Studies of phenophases and their variability provide important data for the improvement of fruit productivity and fruit quality (Marques et al. 2011). Every plant species shows different behaviors under particular environmental conditions (Segantini et al. 2010), and such variability is known for camu-camu: for example comparisons of production of natural populations in Peru (Peters and Vasquez, 1986) and in cultivated areas (Maués and Couturier, 2002), found overall production to be lower in the natural habitat. In the Amazon region, while some studies have been carried out on the phenology of this species (Falcão et al. 1993; Maués and Couturier 2002), studies of fruit production remain undeveloped. Studies of camu-camu fruit productivity are important, since the pulp provides various products can be prepared for the market, such as moisturizing creams, shampoos, conditioners and various cosmetics (Silva and Oliveira 2018). In addition, it can also be used in food in the form of juices, ice cream, liqueurs, some sweets, as well as more elaborate dishes (Teixeira et al. 2004). The current study seeks to provide information to help in fruit production in the region, especially in the context of rural development.

In Amazonas while some studies exist of the phenology of cultivated camu-camu (e.g. Falcão 1993), no comparative studies exist of the phenology of natural and cultivated populations. Accordingly, we suggest that: (I) a camu-camu phenology is different between two areas studied (igapó and terra firme), being dependent on the environment; (II) fruiting on dry land will occur over a period that is more extensive than in igapó, because it doesn't depend on the river level; (III) due to the greater time investment in reproduction, the camu-camu fruits will have lower size on dry land compared to the igapó.

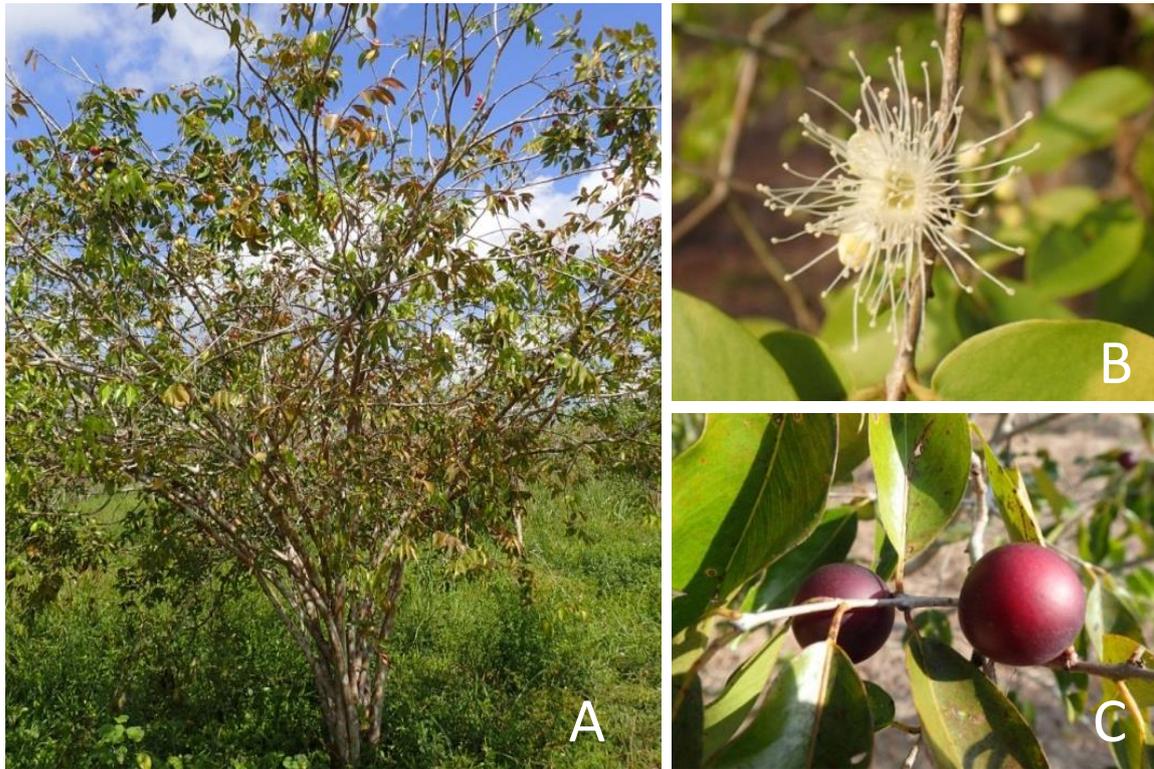


Figure 1: A: Camu-camu at Manacapuru, showing reproductive structures. A: Adult plant; B: Flower; C: Mature fruit. Photos: Cristiane Krug.

MATERIALS AND METHODS

Study area characteristics

Observations were made in two locations in Amazonas state, Brazil: igapó (hereafter, native) located at Chácara Mariju ($3^{\circ} 5'39.37''$ S; $60^{\circ} 22'11.08''$ W), at km 29 on highway AM-070, Iranduba municipality, where there is a large mono-specific population along the entire river-side beach shore; terra firma (hereafter, cultivated) located at KXX Agroindustry ($3^{\circ} 14'17.09''$ S; $60^{\circ} 36'1.31''$ W), at km 70 on highway AM-070, Manacapuru municipality, an area with approximately 1,800 individual camu-camu plants under cultivation, which had varied provenance and which were planted in 2007 (Fig. 2).

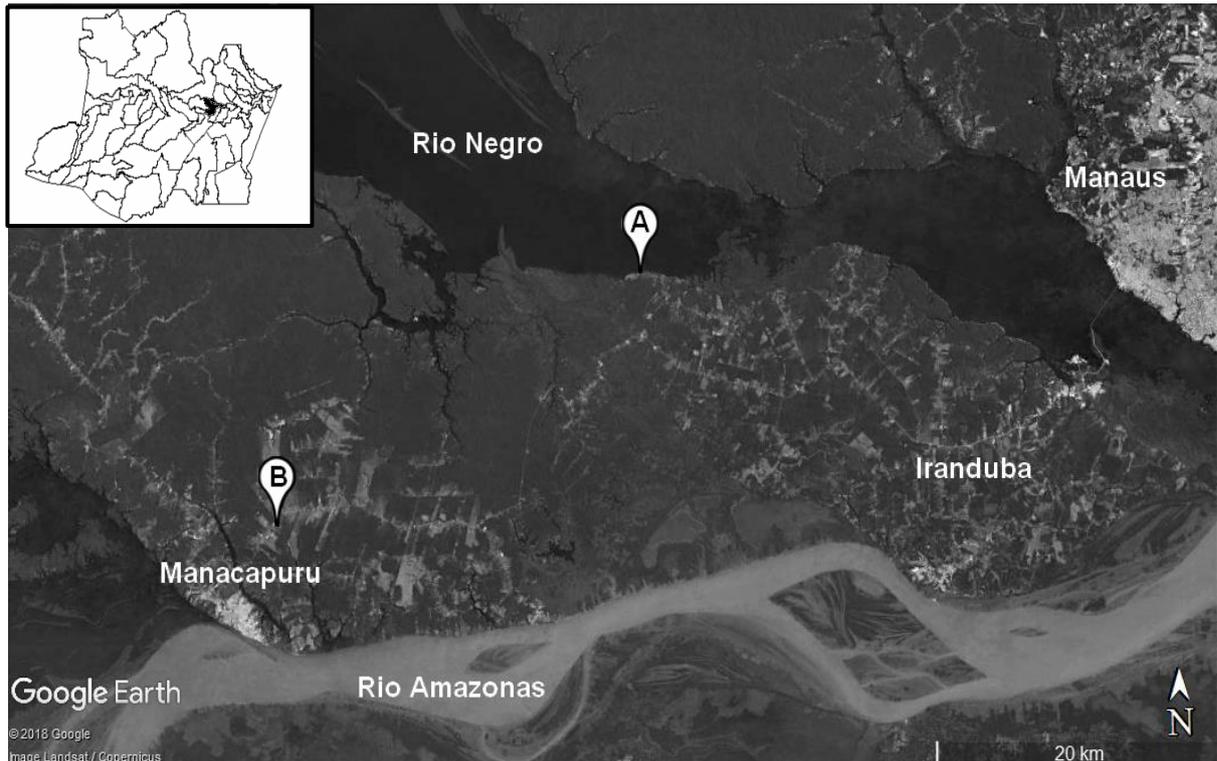


Figure 2: Location of camu-camu study sites along AM-070 highway, Amazonas, Brazil. A: Chácara Mariju; B: KXX Agroindústria. Modified from Google Earth.

The regional climate is classified as Af (humid tropical), according to the Köppen scale (1948), characterized by an average annual temperature of 26° C, with the temperature of the coldest month above 18° C, with high precipitation (annual average greater than 2,500 mm (Dias et al. 2013). The temperature reaches the highest values between August and October, and in 2019 it reached approximately 35° C in October. April and October are the months of transition between one regime and another (Fisch et al. 1998). Greatest rainfall occurs in the first quarter of the year, and in 2019 the rainfall was 1028.8 mm for that period.

At the native population at Iranduba, individual camu-camu plants occur in igapó along the banks of the Rio Negro. Here they are subject to the seasonal periods of low and high water that characterize the region (Keel and Prance 1979) (Fig. 3).



Figure 3: Native population of Camu-camu at Chácara Mariju, Iranduba, Central Amazonian Brazil. A: *Low water*; B: *High water*. Photos: Cristiane Krug.

In Manacapuru, camu-camu is grown (Fig. 4) in a climatic area favorable to its development, but which is not affected by floods (terra firme, sensu Pires and Prance, 1985), with 40.000 m². The area surrounding the plantation contains secondary forest (capoeira), dominated by herbaceous vegetation and pioneer trees such as *Vismia* spp. (Hypericaceae), *Cecropia* sp. (Moraceae) and *Solanum* sp. (Solanaceae). Camu-camu interleaves only with the herbaceous. The plantation was established since 2007.



Figure 4: Camu-camu plantation in terra firme at KXX Agroindústria, Manacapuru. Photos: Cristiane Krug.

Meteorological data

Rainfall data for Iranduba during the period of phenological observations (2018-2019) were obtained from the National Meteorological Institute (INMET: accessed via www.inmet.gov.br), from the conventional meteorological station in Manaus, approximately 34 km south of the study site. For Manacapuru, data for the same period were obtained from INMET from the automated meteorological station at Manacapuru.

Data collection

Phenology

To record phenological patterns, 20 individuals in Iranduba and 52 in Manacapuru were marked and monitored for 13 months. As the Iranduba site is in igapó and, therefore, seasonally flooded, only individuals who could be monitored at the highest water levels were included. The observations will be nested statistically to minimize the difference in sample size between the two areas. The monitoring occurred with visits every 15 days between August 2018 and September 2019. The following data were recorded for each of the marked plants in the two areas: flowering (presence of floral bud or flowers), fruiting (green fruits, ripe fruits, dispersion of fruits) and leaf exchanges (new leaves, leaves and leaf fall). Each of these categories received a number from 0 to 4, where 0 = absent phenophase, 1 = 1 and 25%,

2 = 26 and 50%, 3 = 51 and 75% and 4 = 76 and 100%, based on the methodology of Fournier (1974), which is the standard phenological method used by the Brazilian Agricultural Service, Embrapa Pará and Amazonas (see, Silva et al 2001).

Fruiting quantification

At the peak of 2018 (October-December), 10 different plants of camu-camu were chosen in the igapó and 10 plants on terra firme. We marked 25 buttons in 4 different branches per plant (100 buttons per plant) in each area. Altogether 1000 flower buds were marked in igapó and 1000 flower buds on dry land. The shoots were identified individually with colored ties and monitored every 15 days until the fruits ripen. The fruits were harvested separately, identified by recording the number and branch of the plant and the date of harvest. When harvesting fruit, the color of the skin was considered, with red to dark purple indicating the final stage of maturation (Pinto et al. 2013). The next day, the fruits were individually weighed on a digital scale, measured with tweezers and the number of seeds per fruit was counted.

Statistical analysis

For phenology data, an activity index was calculated to estimate phenophase synchrony across the studied individuals. This quantitative analysis, indicates the percentage of individuals in the population showing a particular phenological stage. Phenophase intensity was also calculated, so that, for each month, the values obtained individually for each 0 to 4 category were added and divided by the maximum possible value, number of individuals multiplied by 4 (I). The result was then multiplied by 100 to obtain a percentage (Bencke and Morellato 2002). The activity index was correlated with environmental variables (temperature, precipitation and relative humidity) using Spearman's nonparametric coefficient (r_s), with the significance level set at $p < 0.05$ (Zar 1999).

(I)

$$\% \text{ Fournier} = \frac{\sum F_i}{4N} \times 100$$

F_i = The sum of Fournier intensity categories of the individuals

N = Total number of observed plants

We combine the phenological observations and their corresponding climatic data and model the relationships between plants and climate variables using mixed linear effects (lme)

models for each of the study areas. For each interaction, the climatic variable was used as an explanatory variable (fixed effects) and while the environment (igapó and terra firme) was treated as a random effect based on the model (II). The models were built using the nlme package (Pinheiro et al. 2007) from statistical program R (R Development Core Team 2012).

(II)

$$\text{Flowering} = \alpha + b_a + \beta * \text{CV} + \varepsilon_a$$

$$\text{Fruiting} = \alpha + b_a + \beta * \text{CV} + \varepsilon_a$$

α = fixed intercept

b_a = environment individuals observations

β = angular coefficient of each environmental variable

CV = climatic variable (rainfall, temperature and humidity relative)

ε_a = model error (residuals)

Fruiting success (proportion of flowers that developed ripe fruit) was calculated for both areas as the ratio between the number of ripe fruit to marked flowers. From the information obtained from fruit collections, the minimum, maximum, mean, standard deviation and variation coefficient (dispersion measure) values were calculated. Additionally, the Spearman coefficient (r_s) and the level of significance ($p < 0.05$) between weight and diameter were calculated. Statistical analyzes were performed using the statistical program R.

RESULTS

Phenology

Both precipitation and phenology patterns differed for terra firme and igapó camu-camu populations. For the former, precipitation showed two annual peaks, the first between December 2018 and January 2019, and the second in May 2019. In contrast, in igapó, precipitation peaked during December 2018 and March 2019. It rained heavily in both areas between December and May. However, in igapó, rainfall remained above 250 mm in these months. On dry land, rainfall started high (above 350 mm), declined rapidly in February (196 mm) and gradually increased again until May (see Fig. 5).

Camu-camu in igapó produced flower buds between October 2018 and February 2019. The synchrony between the individuals was greatest in November and December 2018, at the beginning of the rainy season, when 80% of the bushes had flower buds at the same state of development. Activity was also higher in these two months, reaching 23.75% in November and 33.12% in December (Fig. 5A).

On dry land camu-camu produced flower buds in almost every month of the study, except in February and August 2019. Flower buds appeared even during the hottest months (September, October and November) of 2018, with some individuals blooming during this period and others doing so in the transition between increased rainfall and falling temperatures. Synchrony of flowers was 62.50% in October, 58.65% in November and 64.42% in December 2018, and 53.20% in January 2019. However, flower bud production percentage was highest in October 2018, when the Fournier Index reached 36.78%. In June and July 2019 synchronization values of 25%, with an intensity of 8.89% for June and 5.28% for July. In the other months, the intensity index did not exceed 5% (Fig. 5B).

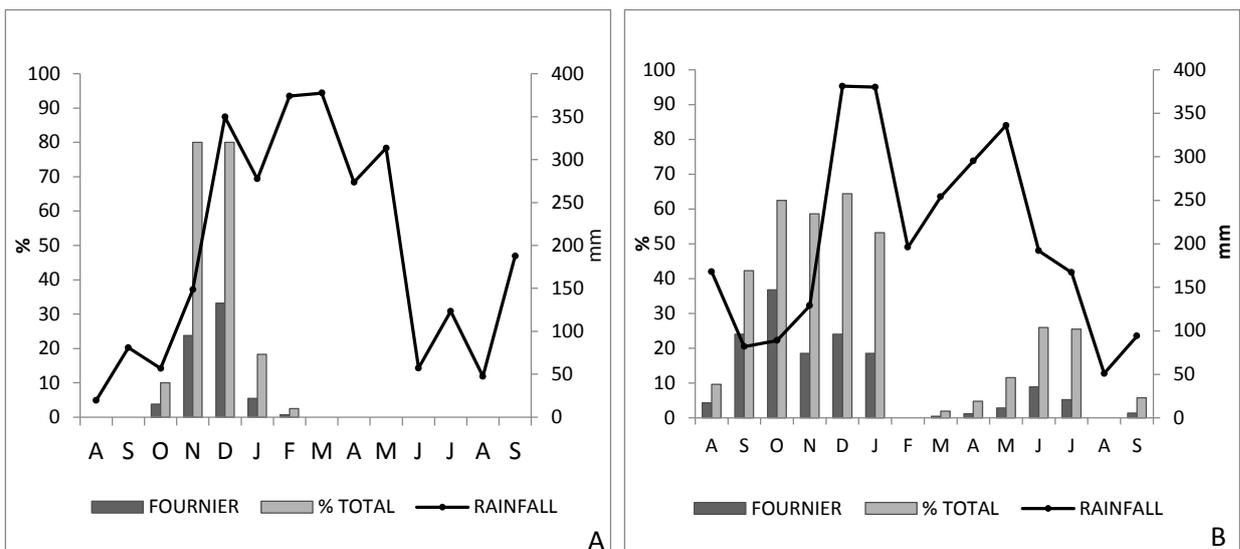


Figure 5: Phenology with total percentage and Fournier Index for flower buds between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru).

Camu-camu in igapó flowered only between November 2018 and January 2019, coinciding with the period of increased rainfall. Flower buds started opening before river water levels began to rise (November 2018). By the following month, when the rainfall reached 349.7 mm, the highest monthly mean in the study period, almost all the bushes were in bloom. The flowering in this period showed a slow peaking to 72.5% in December 2018 followed by a swift decline, reaching zero flowering in March 2019 (Fig. 6A).

On dry land, camu-camu flowered through almost the entire study period, although flowering peaked between October 2018 and January 2019, when maximum rates of synchrony and activity were recorded. Some individuals bloomed in the warmer months (September, October and November) of 2018, and others in the transition between increased rainfall and falling temperatures (December). There was also a second, lower intensity, flowering peak in June and July 2019, a period with slightly lower temperatures and moderate rainfall. Flowering showed a slow increase from October 2018 to the peak in December 2018, before declining rapidly and beginning to flower again only in April 2019 (Fig. 6B).

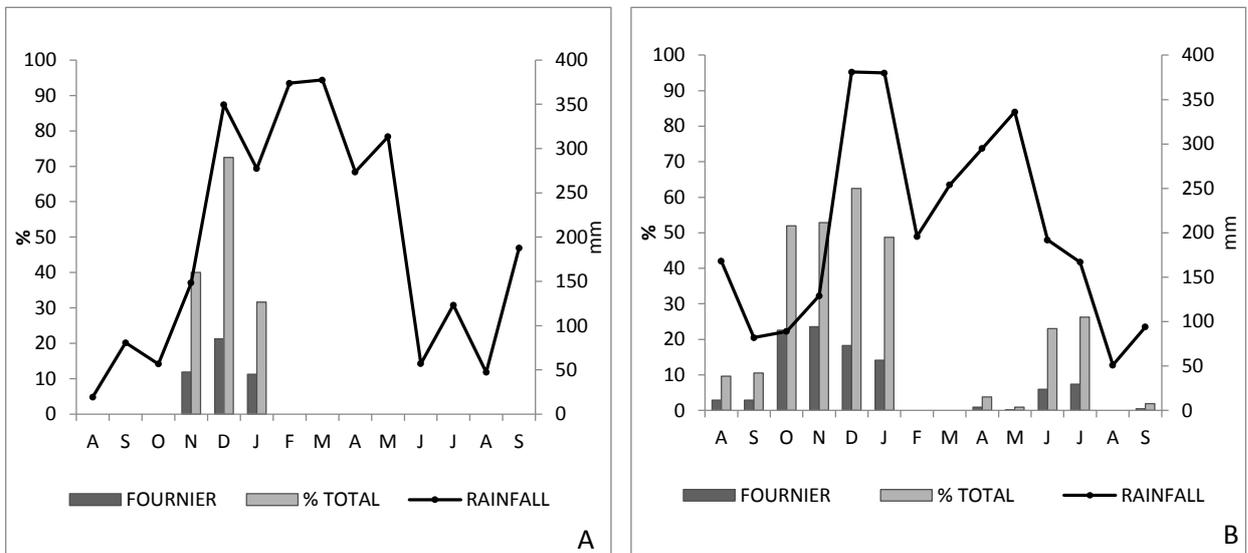


Figure 6: Phenology with total percentage and Fournier Index for flowering between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru)

In igapó, green fruit production occurred between December 2018 and March 2019, the period when river waters began to rise, with production gradually increasing until reaching a peak in February 2019, with a subsequent slow decline (Fig. 7A). In contrast, green fruits were produced continually by terra firme plants, always with percentages above 11%. In March 2019, nearly 84% of the bushes had green fruits. However, greatest intensity occurred in the February 2019. The highest percentages and intensity of green fruits occurred simultaneously, between December 2018 and April 2019 (Fig. 7B).

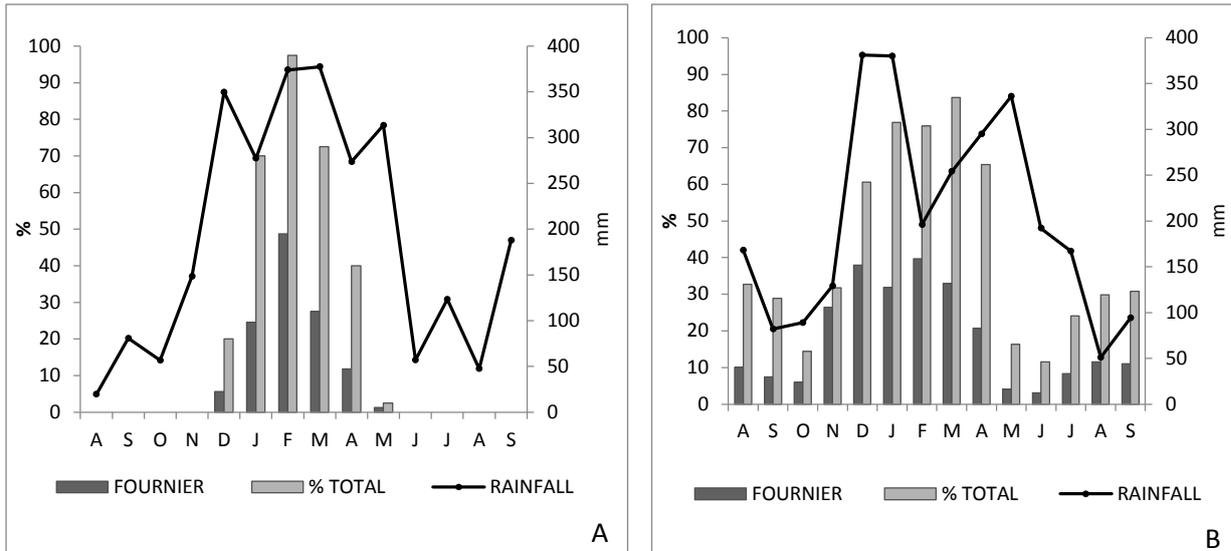


Figure 7: Phenology with total percentage and Fournier Index for green fruit between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru).

In igapó, fruit production occurred between January and May 2019. Here production peaked in March 2019, when almost all individuals had ripe fruit. In May there was a rapid decline until production reached zero in the following month (Fig. 8A). On dry land, ripe fruits were present across all months studied, with percentages above 12%. In March 2019, 76.92% of marked individuals had ripe fruits. The highest percentage and intensity rates occurred simultaneously, between January and April 2019 (Fig. 8B).

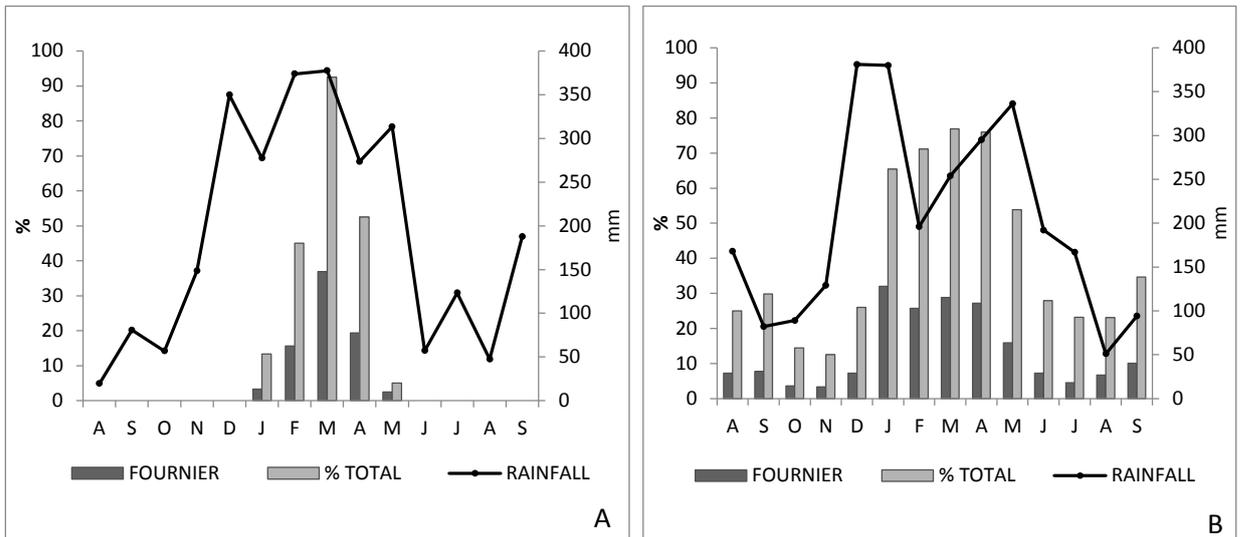


Figure 8: Phenology with total percentage and Fournier Index for ripe fruit between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru).

In igapó, dispersing fruits occurred between January 2019 and April 2019. The maximum total percentage was 25% for February (Fig. 9A). While in dry land dispersing fruits was observed in almost every month, except for August (Fig. 9B).

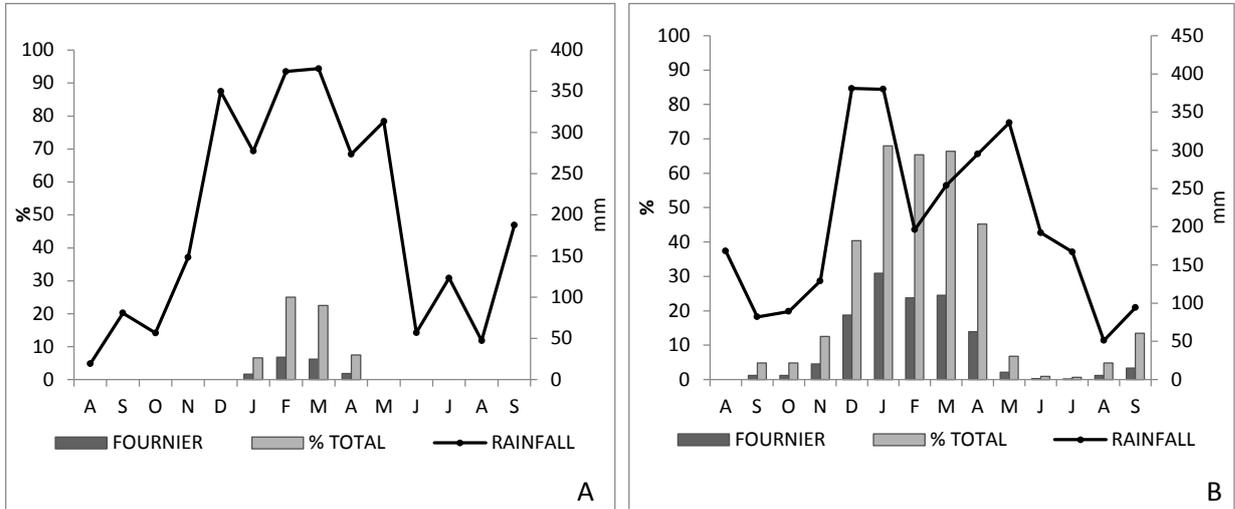


Figure 9: Phenology with total percentage and Fournier Index for dispersing fruits between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó (Iranduba); B: Terra Firme (Manacapuru).

In igapó, the most variable Fournier Index was that for new leaves, mature leaves and defoliation. In August 2018, camu-camu bushes had a high incidence of new leaf flush, which then decreased over subsequent months. From February to April 2019, a period that coincided with rainfall peaks, monitored individuals had mature leaves almost exclusively. From May 2019 onwards, they began to show greater intensity of new leaf production, in a continuous cycle (Fig. 10A).

The Fournier Index for terra firme plant mature leaf intensity was almost always greater than that of new leaves. August and September 2019 were the only months in which the opposite occurred, with this driven by a peak of new leaf production. Partial leaf loss occurred in all the months, with little variation between individuals, which showed an average month leaf loss of approximately 35% (Fig. 10B).

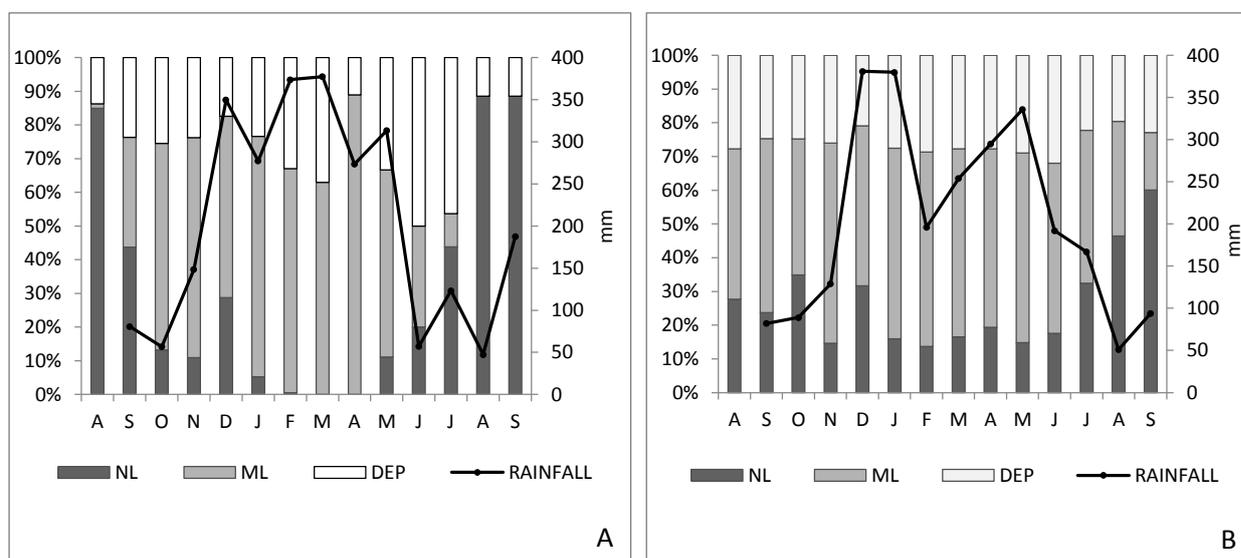


Figure 10: Phenology, with total percentage and Fournier Index for defoliation, between August 2018 and September 2019 in igapó and terra firme. A: Igapó, Iranduba; B: Terra firme, Manacapuru; *NL*: new leaves, *ML*: mature leaves, *DEP*: partial defoliation.

In the native population, flowering was linearly related to precipitation and relative humidity, and the fruiting was linearly related to precipitation and temperature. In cultivation, the flowering was linearly related to temperature and relative humidity, and fruiting was linearly related to precipitation and temperature. The effects was strongest for camu-camu in terra firme (Table 1).

Table 1 – Analysis of linear mixed effects (lme) models to assess the effects of rainfall, temperature and relative humidity on flowering and fruiting in camu-camu. *C. flowering* and *C. fruiting*: Coefficient model ; *f-value* and *p-value*: variance.

Native population (igapó)	C. flowering	f-value	p-value	C. fruiting	f-value	p-value
Rainfall	0.001	56.62	>0.05	0.001	25.02	<0.05
Temperature	0.631	43.11	<0.05	0.001	25.02	<0.05
Relative humidity	0.002	64.98	>0.05	0.001	10.81	>0.05
Cultivated (terra firme)	C. flowering	f-value	p-value	C. fruiting	f-value	p-value
Rainfall	0.121	3.55	<0.05	0.217	9.66	<0.05
Temperature	0.757	77.66	<0.05	0.154	15.34	<0.05
Relative humidity	0.597	60.16	<0.05	0.317	4.43	>0.05

Fruit production

The second evaluation after flower bud marking showed 361 fruits in the process of formation on igapó plants and 304 on terra firme plants. In igapó, 60 fruits were collected between February and March 2019 - a fruiting success rate of 0.06%. For terra firme plants, 20 fruits were collected between January and February 2019 - a fruiting success rate of 0.02%. In total, 80 fruits were collected, with a mean fruiting rate of 0.04%.

In the native population size and weight of fruits varied greatly, with maximum and minimum values of SD 2.18 from the mean. The coefficient of variation was 35.88% for weight, 15.27% for diameter and 46.32% for number of seeds, thus there was greater variation in the quantity of seeds and fruit weight than fruit diameter (Table 2). The estimate of Spearman's correlation coefficient (r_s) between fruit size and weight was high and positive ($r_s = 0.96$ and $p < 0.01$).

Table 2 – Weight and diameter of fresh fruits; number of seeds per fruit for camu-camu (*Myrciaria dubia*) collected in igapó. CV: coefficient of variation.

Aspects	Minimum	Maximum	Mean	SD	CV (%)
Fruit Weight (g)	1.21	10.87	6.07	2.18	35.88
Fruit diameter (cm)	1.20	2.73	2.14	0.33	15.27
N° seeds	1	4	1.68	0.77	46.32

In terra firme size and weight of fruits varied greatly, with maximum and minimum values of SD 1.55 from the mean. The coefficient of variation was 42.93% for weight, 20.07% for diameter and 22.91% for number of seeds, thus there was greater variation in the weight of fruits (Table 3). The estimate of Spearman's correlation coefficient (r_s) between fruit size and weight was high and positive ($r_s = 0.90$ and $p < 0.05$).

Table 3 – Weight and diameter of fresh fruits; number of seeds per fruit for camu-camu (*Myrciaria dubia*) collected in terra firme. CV: coefficient of variation.

Aspects	Minimum	Maximum	Mean	SD	CV (%)
Fruit Weight (g)	1.14	6.71	3.62	1.55	42.93
Fruit diameter (cm)	1.01	2.60	1.82	0.36	20.07
N° seeds	1	2	1.05	0.24	22.91

Igapó and terra firme data were converted into percentages and categorized for graphical comparisons. For weight, the categories were: small (0 to 4 g), medium (4.01 to 8 g)

and large (8.01 to 12 g). Diameter categories were: small (0 to 1 cm), medium (1.01 to 2 cm) and large (2.01 to 3 cm). For seeds, the categories were the number of seeds per fruit.

Regarding weight, most fruits harvested on dry land were classified as smaller fruits (0 to 4g), while in igapó the majority of fruits were medium (4.01 to 8 g). However, heavier fruits (< 8.1g) were found in the native population (Fig. 11).

For diameter, small fruits were collected in small quantities, predominantly from terra firme plants. However, most of the fruits in this study site were of medium diameter. In igapó most fruits were in the medium and large categories, with highest proportion in the 2.01 to 3 cm range (Fig. 11).

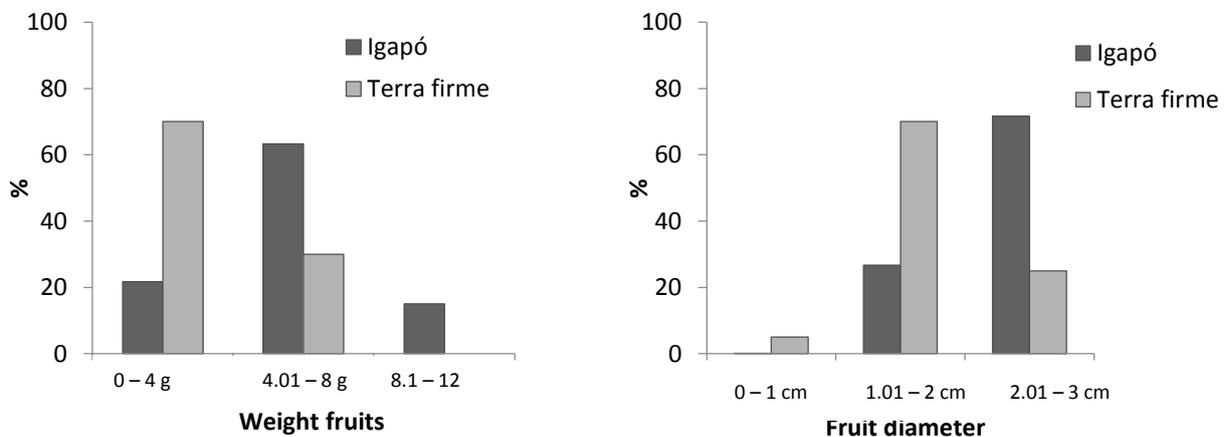


Figure 11: Weight and diameter of camu-camu fruits collected in Igapó (Iranduba) and Terra Firme (Manacapuru), central Amazonian Brazil.

Overall, camu-camu fruits had one to four seeds, and most of those harvested in igapó had one or two seeds, with some specimens developing three or four. In contrast, most fruits from terra firme plants had a single seed (Fig. 12).

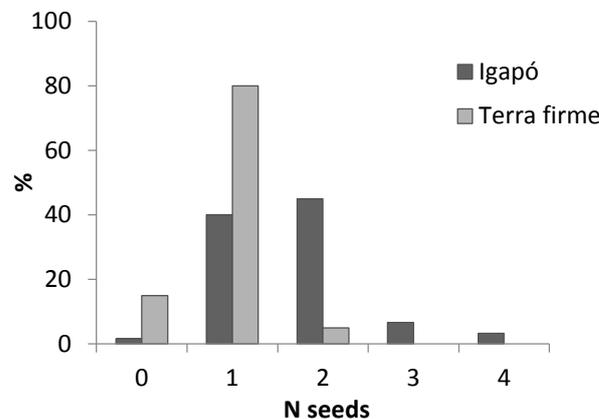


Figure 12: Number of seeds in camu-camu fruits collected in Igapó (Iranduba) and Terra Firme (Manacapuru), central Amazonian Brazil.

DISCUSSION

Phenology

Phenophase synchrony was greater among plants in the natural environment, and aspects of fruit and leaf production showed that plants of the same species can react differently in two adjacent environments (Fig. 5-10). The environmental variables analyzed have a greater influence on the phenophases in cultivation in relation to the native population (Table 1). In this cultivation, temperature and relative humidity are correlated with flowering and according to Farro et al. (2010), the higher the temperature, the more flower loss occurs. Phenology in the native population also depends on the level of the river, as natural flowering occurs when the water level is low, exposing the branches to the sun (Rodrigues et al. 2001). Thus, although the rainiest month was March 2019 and the relative humidity is high, this did not correlate with the increased production of buds or flowers, as some of the shrubs were already partially submerged.

In terra firme, in September 2019, less than 1% of the plants were in flower, unlike the previous year. The correlation test with temperature, precipitation and relative humidity shows significant values, indicating that this difference can be partially explained by these factors. In addition, considering that all cultivated individuals were planted in 2007, issues of genetic selection and adaptation to the environment may be important for flowering. Rojas et al. (2011) found high rates of genetic variability among different natural populations of camu-camu in Amazonas. Thus, we can assume that there are individuals from different native populations, which can also be reflected in phenology.

The intensity of the fruit production phase was higher than that of flowers in both areas, probably due to the short flower duration in the species (1 day), so that some flowering events would have been lost in the 14-day inter-observation intervals. In igapó in February 2019 the number of plants with green fruits increased by 90%, coinciding with the rise in river water levels. In March 2019 90% of marked fruit was ripe, indicating that the rate of loss during maturation is small. For fruit to ripen during the flooding period is expected considering that fish have been identified as the main natural dispersers of the camu-camu (Alves et al. 2002; Yuyama and Siqueira 1999).

Although camu-camu is native to a flooded environment, fruit production on dry land occurred throughout the year, suggesting that there are few restrictions on fruit development in such a growing environment. In terra firme, mature fruit was available for an extensive, as a result of the good development of the species in this habitat, showing a year-round capacity for fruit-production. Terra firme camu-camu appears to lack ground-based dispersers, so fruits fell and accumulated around the plant, often remaining for extended periods, sometimes until they rotted.

In the igapó at Iranduba, the natural population was reproductively active across a four month period in 2019, and maximum fruit-bearing capacity (25%) coincided with the maximum height of riverwater, as noted by Kubitzki and Ziburski (1994) for a variety of igapó species. That this percentage is much lower than that recorded for terra firme peaks, is likely due to the difficulty of evaluating this phenophase in flooded igapó, given that a good part of the fruit crop fell into the water, where it was likely consumed by fish (Alves et al. 2002; Yuyama and Siqueira 1999). Thus, this category is likely to have been substantially underestimated.

At both sites camu-camu plants lost a portion of their leaf cover over the months, a behavior also described by Maués and Couturier (2002) in populations in Belém, indicating that the species is evergreen. In igapó, however, the majority of leaves were lost as the floodwaters rose or at peak flooding, when the plants were partially or totally under water: leaf loss being a common response to flooding water stress (Larcher 1986). At the terra firme site, the leaf change was much more uniform across the evaluated period, with loss and replacement of few leaves each month. Given that in this environment the bushes are not submerged, and therefore, are not under the same conditions of water stress as the igapó (Almada and Fernandes, 2011).

It is important to monitor phenological patterns not only to understand the development of the life cycle of a particular species, but also to understand how this influences the activities of the pollinators, dispersers, herbivores and pathogens that interact with the plant community (Frankie et al. 1974; Smithe 1970). Therefore, it is important to integrate phenological studies with those on other inter-relationships in order to understand the functioning of the community as a whole (Marques and Oliveira 2004). From this it is possible to associate various forms of information and use this to improve fruit production in terra firme plantations.

Fruiting

Records every 15 days suggest that part of the fruits may have matured and fallen in the 14-day period between visits, resulting in a reduced harvest and an underestimate of fruit production in both areas. Even so, production was three times greater in a natural environment (appendix a and b), a figure similar to that mentioned by Maués and Couturier (2002) for camu-camu populations in Pará, comparing the data from cultivated plants, with information on natural populations provided by Peters and Vasquez (1987). In the study by Farro et al. (2010) in a camu-camu cultivation in Peru, only 25% of the fruits reached at maturation, indicating that the abortion rate is high for the specie. Thus, although the population produces many ripe fruits (Figure 8), abortion rates can be high per individual, influencing total production.

Most fruits were harvested three months after marking the flower buds, which lies within the expected developmental period of 60 to 119 days. For terra firme, the largest fruits were harvested four months after marking, and even so, they are smaller than those of igapó. The reproductive success of a species is linked to population dynamics, since it depends on the stability of the species in the environment, therefore, fruiting must be influenced by several factors (Silva e Pinheiro, 2009), such as adaptation, genetic selection, pollen limitation and pollination.

For the terra firme population, fruit production occurred in all the months of the study, although in a non-uniform way, as greatest production occurred during the five months of moderate or highest rainfall. This reinforces the production potential of terra firme-based plantations, since the plants are able to produce fruit throughout the year and not just during a restricted period. Given that water availability is essential for the development of fleshy fruits (Araújo et al. 2009), the provision of an irrigation system for the cultivation of camu-camu on land drought can also be a way to improve production.

In igapó, rainfall remained high between December and May, meantime on dry land, more pronounced declines in rainfall over the same period were observed and this may have generated a small water stress. The water stress is directly related to fruit production (Berman and DeJong, 1996). In addition, transpiration water loss is also an important component of the water balance of the fruits of some species, being important in determining quality criteria in

the harvest, including fruit size (Lescourret et al. 200). Thus, the reduction in rainfall may have contributed to lower productivity on terra firme.

Combining data from both areas, fruit diameter varied from 1.01 to 2.73 cm, while weight varied from 1.14 to 10.87 g, values slightly smaller than those found by Yuyama (1999), for native populations in Roraima. As with other species of plants, such extensive variation may be associated with genetic selection, degree of maturation and environmental differences that reflect the different locations in which individuals were growing (Gusmão et al. 2006). In addition, in the native environment, a higher number of seeds and fruits suggest that pollination may be more efficient, since legitimate pollinators are adapted to these conditions and not to the cultivation conditions. However, tests are needed to verify this factor.

Another consideration is that not only does fruit and seed production involve energy expenditure, but the plant itself can regulate this expenditure (Moura et al. 2010), thus, producing smaller fruits over longer periods, as occurred in terra firme. In flooded forests, such as the igapó, the soil has the advantage of being naturally fertilized each year by the rising and falling of the river, being very productive (Peters and Hammond, 1990).

When analyzing the number of seeds, the minimum number of pollen grains required for maximum seed production per fruit is equal to the maximum number of seeds under natural conditions (Ne'eman et al. 2010), that is, the pollination of the camu-camu in terra firme probably is not using all available pollen. New habitat or habitat fragmentation, decreased population size or loss of native pollinators can reduce pollen reception (Ashman et al 2004). Thus, floral specialization for specific pollinators can allow a reduction in the energy expenditure of the plant to guarantee the successful transfer of pollens between the plants (Pansarin, 2003).

Information concerning the biometric variations of fruits is important for the improvement of these characteristics, either to increase or to standardize these attributes for commercial exploitation. Such data can form the basis for crop improvement schemes and development of cultivars that provide fruits with the best characteristics for commercialization (Gonçalves et al. 2013; Zuffo et al. 2014). Because camu-camu is a species native to the region, it can become a source of income for local producers, so stimulating the regional economy.

The cultivation of camu-camu in never-flooded areas opens up both a larger potential area for production and increases commercial profitability, as flowers and fruits are produced practically all year round. To increase production further, it is important to select individuals that produce fruits of the largest size and number of seeds. Additionally, the use of native bees might give both high pollination levels and, via honey, a supplemental source of income (Burgett 2011; Winfree et al. 2007).

Another important factor is that there is variation in the concentration of ascorbic acid in camu-camu, in green fruits it is low, gradually increasing as the fruit matures (Yuyama et al. 2002). In addition to checking ripeness via pericarp color, the positive correlation between weight and size shows that the fruits can also be classified by one or the other of these variables.

The information from the current study will be used to inform a management plan, within the POLINET (Rede de Interações de Abelhas com frutíferas do Norte e Nordeste: North and Northeastern Bee-Fruit-tree Interactions Network) project financed by the Brazilian agricultural research service (EMBRAPA) in collaboration with various universities and research institutes. The information will be useful for enhancing agroecosystem sustainability and will be dispensed to farmers throughout the region.

CONCLUSIONS

From our results, it can be concluded that:

- For cultivated plants the reproductive phenophase has two or more peaks of production, with fruits present throughout the study period;
- Reproductive phenophases in native populations occurs only once a year, with flowering beginning in the rainy season and fruit maturation starting as water levels rise;
- The provision of an irrigation system for the cultivation of camu-camu on land drought could and should be evaluated as a way to improve production.
- *Myrciaria dubia* develops well in a crop, but shows much potential for improvement;

ACKNOWLEDGMENTS

We are grateful for the structure of the Amazon Research Institute and support from Botany Graduate Program of that institute (PPG-Bot). This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Finance Code 001. Financial support for this study was received from the project “Rede de Interações de abelhas com frutíferas do Norte e Nordeste (PoliNet)” (code SEG 02.16.04.024.00.00) financed by EMBRAPA.

BIBLIOGRAPHIC REFERENCES

- Almada, E. D.; Fernandes, G. W. A. 2011. Insetos indutores de galhas em florestas de terra firme e em reflorestamentos com espécies nativas na Amazônia Oriental, Pará, Brasil. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi versão Ciências Naturais*, 6(2):163-196.
- Alves, R. E.; Filgueiras, H. A. C.; Moura, C. F. H.; Araújo, N. C. C.; Almeida, A. S. 2002. Camu-Camu (*Myrciaria dubia* Mc Vaugh): A Rich Natural Source of Vitamin C. *Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture*, 46: 11-13.
- Ashman, T.; Knight, T.M.; Steets, J.A.; Amarasekare, P.; Burd, M.; Campbell, D.R.; Dudash, M. R.; Johnston, O.; Mazer, S. J.; Mitchell, R. J.; Morgan, M. T.; Wilson, W. G. 2004. Pollen limitation of plant reproduction: Ecological and evolutionary causes and consequences. *Ecology*, 85(9): 2408-21.
- Araújo, R. R.; Santos, E. D.; Lemos, E. E. P.; Alves, R. R. 2009. Caracterização biométrica de frutos e sementes de genótipos de murici (*Byrsonima verbascifolia* (L.) Rich.) do Tabuleiro Costeiro de Alagoas. *Revista Caatinga*, 22(3): 224-228.
- Bacelar-Lima, C. G.; Carvalho, A.; Chagas, E. A.; Porto, W.S.; Venâncio, G. B.; Pereira, A. G. S. 2012. Caracterização fenológica e biométrica de frutos de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) do Lago da Morena-Cantá-Roraima/RR. In: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 99-102.
- Barros, H. R. M.; Moura, M. H. C.; Araújo, R. L.; Genovese, M. I. 2018. Bioactive compounds of Camu-Camu (*Myrciaria dubia* McVaugh), the super fruit from the amazon region: chemical characterization and biological activity. In: *Tropical Fruits:*

From Cultivation to Consumption and Health Benefits, eds S. D. Todorov; Pieri, F. A. New York: Nova Science Publishers, 8:153-186

Burgett, M. 2011. Pacific Northwest Honey Bee Pollination Economics Survey 2010. *Bee Culture*, 139(9): 35.

Benck, C. S. C.; Morellato, P. C. 2002. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. *Revista Brasileira de Botânica*, 25(3): 269-275.

Berman, M. E.; DeJong, T. M. 1996. Water stress and crop load effects on fruit fresh and dry weights in peach (*Prunus persica*). *Tree Physiology*, 16: 859-864.

Chagas, E. A.; Flores, P. S.; Chagas, P. C.; Couceiro, M. A.; Pasqual, M.; Pio, R.; Araújo, M. C. R.; Silva, M. L. 2014. Frutíferas nativas da Amazônia. In: *Cultura de tecidos em espécies frutíferas* eds Pasqual, Chagas, E. A. Boa Vista: Editora da UFRR.

Delgado, J. P. M.; Yuyama, K.; Cardenas, J. R. 2016. Does a greater number of branches improve initial fruit production in camu-camu? A test under different types of plantation and cropping management. *Fruits Journal*, 71(1):35-40.

Dias, J. R. M.; Wadt, P. G. S.; Tucci, C. A. F.; Santos, J. Z. L.; Silva, S. V. 2013. Normas DRIS multivariadas para avaliação do estado nutricional de laranjeira 'Pera' no estado do Amazonas. *Revista Ciência Agronômica*, 44(2): 251-259.

Falcão, M. A. 1993. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade de algumas fruteiras cultivadas na Amazônia. 2ed. Manaus: UFAM Press.

Farro, S.; Pinedo, M.; Huaranca, R. 2010. Possible factors which produce fruit drop of *Myrciaria dubia* (HBK) Mc Vaugh, "camu camu" during the reproductive phenology in the collection "cinco cuencas" from the San Miguel experimental center IAP, Loreto, Peru. *Scientia Agropecuaria*, 1:117-123.

Ferreira, L. V.; Almeida, S. S.; Amaral, D. D.; Parolin, P. 2005. Riqueza e composição de espécies da floresta de igapó e várzea da Estação Científica Ferreira Penna: subsídios para o plano de manejo da floresta nacional de caxiuana. *Pesquisas, Botânica*, 56: 103-116.

- Fisch, G.; Marengo, J. A.; Nobre, C. A. 1998. Uma revisão geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazonica* 28(2): 101-126.
- Fournier, L. A. 1974. Un método cuantitativo para la medición de características fenológicas en árboles. *Turrialba* 24: 422-423.
- Frankie, G. W.; Baker, H. G.; Opler, P. A. 1974. Comparative phenological studies of trees in tropical lowland wet and dry forest sites of Costa Rica. *Journal of Ecology*, 62:881-913.
- Gonçalves, L. G. V.; Andrade, F. R.; Marimon-Junior, B. H.; Schossler, T. R.; Lenza, E.; Marimon, B. S. 2013. Biometria de frutos e sementes de mangaba (*Hancornia speciosa* Gomes) em vegetação natural na região leste de Mato Grosso, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 36(1): 31-40.
- Gusmão, E.; Vieira, F. A.; Júnior, E. M. F. 2006. Biometria de frutos e endocarpos do murici (*Byrsonima verbascifolia* Rich. ex. A. Juss). *Cerne Lavras*, 12(1):84-91.
- Inga, H.; L. M; Delgado, C.; Linares, C.; Mejía, K. 2001. Fenología reproductiva de *Myrciaria dubia* McVaugh (H.B.K.) Camu-Camu. *Folia Amazónica*, 12(1-2): 99-105.
- Keel, S. H. K.; Prance, G. T. 1979. Studies of the vegetation of a white-sand black-water igapó (Rio Negro, Brazil). *Acta Amazonica*, 9(4):645-665.
- Köppen, W. 1948. *Climatologia: con un estudio de los climas de la tierra*. Fondo de Cultura Económica, México.
- Kubitzki, K.; Ziburski, A. 1994. Seed dispersal in flood plain forests of Amazonia. *Biotropica*, 26: 30-43.
- Larcher, W. 1986. *Ecofisiologia vegetal*. 4ed. São Paulo: EPU.
- Lescourret, F.; Génard, M.; Habib, R.; Fishman, S. 2001. Variation in surface conductance to water vapor diffusion in peach fruit and its effects on fruit growth assessed by a simulation model. *Tree Physiology*, 21: 735-741.

- Marques, M. C. M.; Roper, J. J.; Salvalaggio, A. P. B. 2004. Phenological patterns among plant life-forms in a subtropical forest in southern Brazil. *Plant Ecology*, 173:203-213.
- Marques, M. C. M.; Oliveira, P. E. A. M. 2004. Fenologia de espécies do dossel e do sub-bosque de duas Florestas de Restinga na Ilha do Mel, sul do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 27(4): 713-723.
- Marques, V. B.; Moreira, R. A.; Ramos, J. D.; Araújo, N. A.; Silva, F. O. R. 2011. Fenologia reprodutiva de pitaia vermelha no município de Lavras, MG. *Ciência Rural* 41(6): 984-987.
- Maués, M. M.; Couturier, G. 2002. Biologia floral e fenologia reprodutiva do camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh, Myrtaceae) no Estado Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica* 25(4): 441-448.
- Moura, T. M.; Oliveira, G. C. X.; Chaves, L. J. 2010. Correlação entre floração, frutificação e variáveis ambientais em *Solanum lycocarpum*. a. st. hil, Solanaceae. *Bioscience Journal*, 26(3): 457-462.
- Ne'eman, G.; Jürgens, A.; Newstrom-Lloyd, L.; Potts, S. G.; Dafni, A. 2010. A framework for comparing pollinator performance: effectiveness and efficiency. *Biological reviews of the Cambridge Philosophical Society*, 85(3): 435-451.
- Pansarin, E. R. 2003. Biologia reprodutiva e polinização em *Epidendrum paniculatum* Ruiz & Pavón (Orchidaceae). *Revista Brasileira de Botânica*, 26(2): 203-211.
- Parolin, P. 2009. Submerged in darkness: adaptations to prolonged submergence by woody species of the Amazonian floodplains. *Annals of Botany*, 103(2):359-376.
- Peters, C. M.; Hammond, E. J. 1990. Fruits from the Flooded Forests of Peruvian Amazonia: Yield Estimates for Natural Populations of Three Promising Species. *Advances in Economic Botany*, (8): 159-176.
- Peters, C. M.; Vasquez, A. 1987. Estudios ecológicos de camu-camu (*Myrciaria dubia*). I. Producción de frutos en poblaciones naturales. *Acta Amazonica*, 16/17: 161-174.

- Pinheiro, J.; Bates, D.; DebRoy, S.; Sarkar, D R Core Team (2017). *Linear and Nonlinear Mixed Effects Models*. R package version 3.1-131 (URL: <https://CRAN.R-project.org/package=nlme>).
- Pinto, P. M.; Jacomino, A. P.; Silva, S. R.; Andrade, C. A. W. 2013. Ponto de colheita e maturação de frutos de camu-camu colhidos em diferentes estádios. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 48(6): 605-612.
- Pires, J. M.; Prance, G. T. 1985. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: Prance, G. T. and T. E Lovejoy. *Key Environments: Amazonia*. Oxford: Pergamon Press.
- R Development Core Team. 2012. *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Disponível em <<http://www.R-project.org/>>.
- Ribeiro, S. I; Mota, M. G.; Corrêa, M. L. P. 2002. Recomendações para o Cultivo do Camu-camuzeiro no Estado do Pará. Belém: Embrapa Amazônia Ocidental, Circular Técnica (31).
- Rodrigues, R. B.; Menezes, H. C.; Cabral, L. M. C.; Dornier, M.; Reynes, M. 2001. An Amazonian fruit with a high potencial as a nature source of vitamina C: the camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Fruits*, 56(5): 345-354.
- Rojas, S.; Clement, C. H.; Yuyama, K.; Nagao, E. O. 2011. Diversidade genética em acessos do banco de germoplasma de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh) do INPA usando marcadores microssatélites (EST-SSR). *Revista Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 12(1): 51-64.
- Schöngart, J.; Junk, W. J. 2007. Forecasting the flood-pulse in Central Amazonia by ENSO-indices. *Journal of Hydrology*, 335:124-132.
- Segantini, D. M.; Torres, L. M.; Boliani, A. C.; Leonel, S. 2010. Fenologia da figueira-da-índia em Selvíria – MS. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 32(2): 630-636.
- Silva, A. L. G.; Pinheiro, M. C. B. 2009. Reproductive success of four species of *Eugenia* L. (Myrtaceae). *Acta Botanica Brasileira*, 23(2): 546-534.

- Silva, J. N. M.; Carvalho, J. O. P.; Yared, J. A. G. 2001. A silvicultura na Amazônia Oriental: contribuições do projeto Embrapa-DFID. Belém: Embrapa Amazônia Oriental.
- Silva, W. G.; Oliveira, M. N. 2018. Edible Popular Fruit in the Amazon Region: Food Importance. In: Todorov, S. D.; Pieri, F. A. Tropical Fruits: From Cultivation to Consumption and Health Benefits. New York: Nova Science Publishers, 1:1-24.
- Smithe, N. 1970. Relationships between fruiting seasons and seed dispersal methods in a neotropical forest. *The American Naturalist*, 104:25-35.
- Souza, O. M.; Barcelar-Lima; Chagas, E.; Alves, J. B.; Cruz, L. S.; Porto, W. S. 2012. Fenologia da frutificação de populações naturais de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) em Roraima. In: XXII Congresso Brasileiro de Fruticultura, Bento Gonçalves, Rio Grande do Sul, 3543-3546.
- Teixeira, A. S.; Chaves, L. S.; Yuyama, K. 2004. Esterases no exame da estrutura populacional de Camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh-Myrtaceae). *Acta Amazônica*, 34(1): 89-96.
- Vidigal, M. C. T. R.; Minim, V. P. R.; Carvalho, N. B.; Milagres, M. P.; Gonçalves, A. C. A. 2011. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Cajá (*Spondias lutea* L.) and Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). *Food Research International*, 44(7): 1988-1996.
- Villachica, H. 1996. El cultivo del Camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh) em la Amazônia Peruana. Lima, Peru: Tratado de Cooperacion Amazônica.
- Yuyama, K. 1999. Banco ativo de germoplasma de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh). In: Recursos genéticos de espécies frutíferas no Brasil, eds F. R. Ferreira. Brasília: EMBRAPA/CENARGEN, 90-93.
- Yuyama, K. 2002. Domesticação de germoplasma de camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh). Livro de resultados dos Projetos de Pesquisa Dirigida (PPDs). Manaus: Instituto de Pesquisa da Amazônia, 149-153.

- Yuyama, K.; Aguiar J. P. L.; Yuyama, L. K. O. 2002. Camu-camu: Um fruto fantástico como fonte de vitamina C. *Acta Amazonica*, 32(1): 169-174.
- Yuyama K.; Silva-Filho, D. F. 2003. Influência do tamanho e da coloração da semente na emergência de plântulas de camu-camu. *Revista de Ciências Agrárias de Belém*, 39: 155-162.
- Yuayama, K.; Siqueira, J. A. S. 1999. Efeitos do tamanho da semente e do recipiente no crescimento de mudas de camu-camu (*Myrciaria dubia*). *Acta Amazonica*, 29(4): 647-650.
- Winfree, R.; Willians, N. M.; Dushoff, J.; Kremen, C. 2007. Native bees provide insurance against ongoing honey bee losses. *Ecology letters*, 10: 1105-1113.
- Zar, J. H. 1999. *Biostatistical analysis*. 4ed. Saddle River: Prentice Hall.
- Zuffo, A. M.; Andrade, F. R.; Júnior, J. M. Z. 2014. Caracterização biométrica de frutos e sementes de baru (*Dipteryx alata* Vog.) na região leste de Mato Grosso, Brasil. *Revista de Ciências Agrárias*, 37(4): 463-471.

APPENDIX

APPENDIX A - Total fruits collected in igapó. Weight and diameter of fresh fruits; number of seeds per fruit of camu-camu.

Number fruit	Collection date	Weight (g)	Diameter (cm)	N° seeds
1	02/12/2019	5,88	2,73	2
2	02/26/2019	0,84	1,02	0
3	03/12/2019	5,00	2,12	1
4	03/12/2019	3,65	1,82	1
5	03/12/2019	4,74	2,13	1
6	03/12/2019	2,49	1,58	2
7	03/12/2019	8,61	2,49	2
8	03/12/2019	9,59	2,58	3
9	03/12/2019	7,44	2,41	2
10	03/12/2019	7,21	2,34	2
11	03/12/2019	5,60	2,15	1
12	03/12/2019	7,01	2,32	2
13	03/12/2019	5,85	2,19	2
14	03/12/2019	7,41	2,28	2
15	03/12/2019	8,26	2,41	2
16	03/12/2019	5,26	2,09	2
17	03/12/2019	6,80	2,29	2
18	03/12/2019	1,21	1,20	1
19	03/12/2019	10,10	2,61	3
20	03/12/2019	8,25	2,45	4
21	03/12/2019	8,25	2,43	2
22	03/12/2019	6,87	2,21	2
23	03/12/2019	5,04	2,10	2
24	03/12/2019	2,94	1,75	1
25	03/12/2019	2,34	1,49	2
26	03/12/2019	3,28	1,68	2
27	03/12/2019	7,02	2,29	3
28	03/12/2019	0,16	0,51	0
27	03/12/2019	1,72	1,41	1
30	03/12/2019	4,42	1,98	2
31	03/12/2019	4,00	2,00	2
32	03/12/2019	1,37	1,31	0
33	03/12/2019	7,00	2,32	1
34	03/12/2019	8,02	2,40	2
35	03/12/2019	5,19	2,11	1
36	03/12/2019	10,87	2,69	4
37	03/12/2019	7,22	2,22	2
38	03/12/2019	7,06	2,32	2
39	03/26/2019	10,40	2,70	3
40	03/26/2019	5,50	2,19	1
41	03/26/2019	10,17	2,58	2
42	03/26/2019	7,07	2,27	1
43	03/26/2019	4,68	2,00	1
44	03/26/2019	3,84	1,82	1
45	03/26/2019	7,00	2,29	1

46	03/26/2019	6,29	2,15	1
47	03/26/2019	5,24	1,99	1
48	03/26/2019	4,97	2,05	2
49	03/26/2019	4,85	1,81	1
50	03/26/2019	4,80	1,93	1
51	03/26/2019	6,89	2,21	2
52	03/26/2019	5,46	2,01	2
53	03/26/2019	6,27	2,18	2
54	03/26/2019	7,20	2,20	2
55	03/26/2019	6,97	2,19	1
56	03/26/2019	7,35	2,39	1
57	03/26/2019	6,81	2,30	1
58	03/26/2019	5,78	2,14	1
59	03/26/2019	5,71	2,11	1
60	03/26/2019	5,68	2,10	1

APPENDIX B - Total fruits collected in terra firme. Weight and diameter of fresh fruits; number of seeds per fruit of camu-camu.

Number fruit	Collection date	Weight (g)	Diameter (cm)	N° seeds
1	01/29/2019	4,01	1,97	1
2	01/29/2019	4,37	2,02	1
3	01/29/2019	3,52	1,82	1
4	01/29/2019	3,10	1,70	1
5	01/29/2019	3,61	1,80	1
6	01/29/2019	2,76	1,65	1
7	01/29/2019	0,72	1,05	0
8	01/29/2019	0,30	0,81	0
9	02/12/2019	5,38	2,15	2
10	02/12/2019	6,71	2,30	1
11	02/12/2019	5,59	2,09	1
12	02/12/2019	2,64	1,62	1
13	02/12/2019	3,28	1,79	1
14	02/12/2019	3,08	1,62	1
15	02/12/2019	6,01	2,60	1
16	02/12/2019	2,13	1,91	1
17	02/12/2019	1,81	1,40	1
18	02/26/2019	1,14	1,01	1
19	02/26/2019	2,33	1,52	1
20	02/26/2019	1,27	1,23	0

CAPÍTULO 2

VISITANTES FLORAIS E REDES DE INTERAÇÕES ENTRE ABELHAS E FLORES DO CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) E VEGETAÇÃO ADJACENTE EM DUAS ÁREAS NA AMAZÔNIA CENTRAL, BRASIL

VISITANTES FLORAIS E REDES DE INTERAÇÕES ENTRE ABELHAS E FLORES DO CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) E VEGETAÇÃO ADJACENTE EM DUAS ÁREAS NA AMAZÔNIA CENTRAL, BRASIL

1. INTRODUÇÃO

A polinização é um processo indispensável na reprodução das angiospermas, contribuindo para a produção de alimentos e manutenção da rede de interações entre animais e plantas, sendo um importante serviço ecossistêmico (Yamamoto et al. 2010). Nos trópicos, aproximadamente 94% das angiospermas dependem dos animais para reprodução, e muitas culturas também dependem deles para polinização cruzada (Klein et al. 2007, Ollerton et al. 2011). Dessa forma, essa interação tem importância na conservação e sustentabilidade da fauna e flora mundial (Kevan e Viana, 2003; Nava et al. 2009).

As abelhas são os principais agentes polinizadores, sendo especialmente dependentes dos recursos florais, fazendo com que algumas plantas tenham vínculo absoluto com esse grupo (James e Pitts-Singer, 2008). Esses animais são atraídos por uma série de características que incluem a coloração das flores, guias de nectários, áreas de pouso, odor e oferta de algum tipo de recurso (D'Avila e Marchini, 2005). Por outro lado, essas características também atraem visitantes que não polinizam a flor (Milet-Pinheiro, 2006) e é importante observar e analisar o comportamento dos visitantes, avaliando sua colaboração ou não no sucesso reprodutivo da planta.

Na região Amazônica existem diversas espécies de angiospermas polinizadas por animais que produzem frutos comestíveis (Carvalho e Müller, 2005, Klein et al. 2007), como é o caso de *Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh (Myrtaceae), o camu-camu. A família possui características florais que atraem insetos, justamente abelhas, que buscam o pólen como recurso principal (Gressler et al. 2006). A espécie é nativa da região Amazônica, ocorrendo naturalmente em ambientes alagados (Yuyama et al., 2002), entretanto, já foi introduzida com sucesso em cultivos em terra firme (Maués e Couturier, 2002). Essa frutífera se destaca pelos frutos com altas concentrações de ácido ascórbico (1600 a 2900 mg/100g), cerca de 20 vezes mais que a acerola e até 100 vezes mais do que o limão (Vidigal et al. 2011), apresentando portanto, grande potencial econômico.

Myrtaceae é uma das maiores famílias botânicas com espécies reunidas em aproximadamente 140 gêneros, sendo importantes em diversos ecossistemas neotropicais (Silva e Pinheiro, 2007). Trabalhos prévios realizados com a espécie sobre biologia floral e reprodutiva demonstram que a mesma é altamente dependente de abelhas para polinização cruzada, estimada em aproximadamente 90%, tanto em populações nativas como em cultivos agrícolas (Peter e Vazquez, 1987; Falcão, 1993; Maués e Couturier, 2002). Por outro lado, tais estudos consideram diferentes espécies de abelhas polinizadoras de camu-camu e não se sabe como é a dinâmica dessas abelhas com a comunidade de plantas do entorno.

As plantas do entorno contribuem para a manutenção das espécies de abelhas, inclusive polinizadoras do camu-camu, pois as espécies sociais nidificam predominantemente em árvores e sua dieta consiste em diversas plantas (Biesmeijer et al. 2005; Cortopassi-Laurino et al. 2009). Além disso, trabalhos com espécies cultivadas mostram que a manutenção ou a criação de áreas adjacentes com espécies de plantas nativas, contendo alta diversidade de flores, pode contribuir para aumentar a prestação de serviços de polinização (Carvalho et al. 2012).

As redes de interação entre plantas e insetos são uma forma de representação dessas relações na comunidade e são importantes para descrever os processos, estruturas e generalizações das relações (Rocha-Filho et al. 2012). As redes de visita quantificam as interações através do número de visitas às flores e as redes de transporte de pólen demonstram quais visitantes são potencialmente polinizadores de determinada planta (Ballantyne et al. 2015).

Portanto, esse trabalho teve o objetivo conhecer os visitantes florais e polinizadores do camu-camu em população nativa e cultivo ao longo de um ano, para compreender como é a interação desses polinizadores com as plantas associadas ao entorno e ao ambiente. Também foram realizadas análises palinológicas para evidenciar as plantas que os polinizadores do camu-camu estão visitando e, portanto, que são relevantes na manutenção desses polinizadores na área. Para isso, consideramos que: (I) Dentre os visitantes florais, a(s) espécie(s) que apresentam comportamento de visitas constantes e transportam pólen do camu-camu são o(s) potenciais polinizador(es); (II) os polinizadores de camu-camu são generalistas e também transportam pólen de outras espécies de plantas; (III) a composição de espécies da comunidade de polinizadores em ambiente natural e cultivo é diferente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Caracterização da área de estudo

As amostragens foram feitas em dois locais no estado do Amazonas, Brasil: igapó (população nativa) localizada na Chácara Mariju (3° 5'39.37 "S; 60° 22'11.08" W), no km 29 da AM-070, no ramal do Japonês, município de Iranduba, onde existe grande população mono-específica ao longo da margem do Rio Negro (Fig. 1A); terra firme (cultivo) localizada na fazenda KXX Agroindústria (3° 14'17.09 "S; 60° 36'1.31" W), no km 70 da AM-070, município de Manacapuru, em um cultivo com aproximadamente 1.800 indivíduos de procedência variada e que foram plantados em 2007 (Fig. 1B).

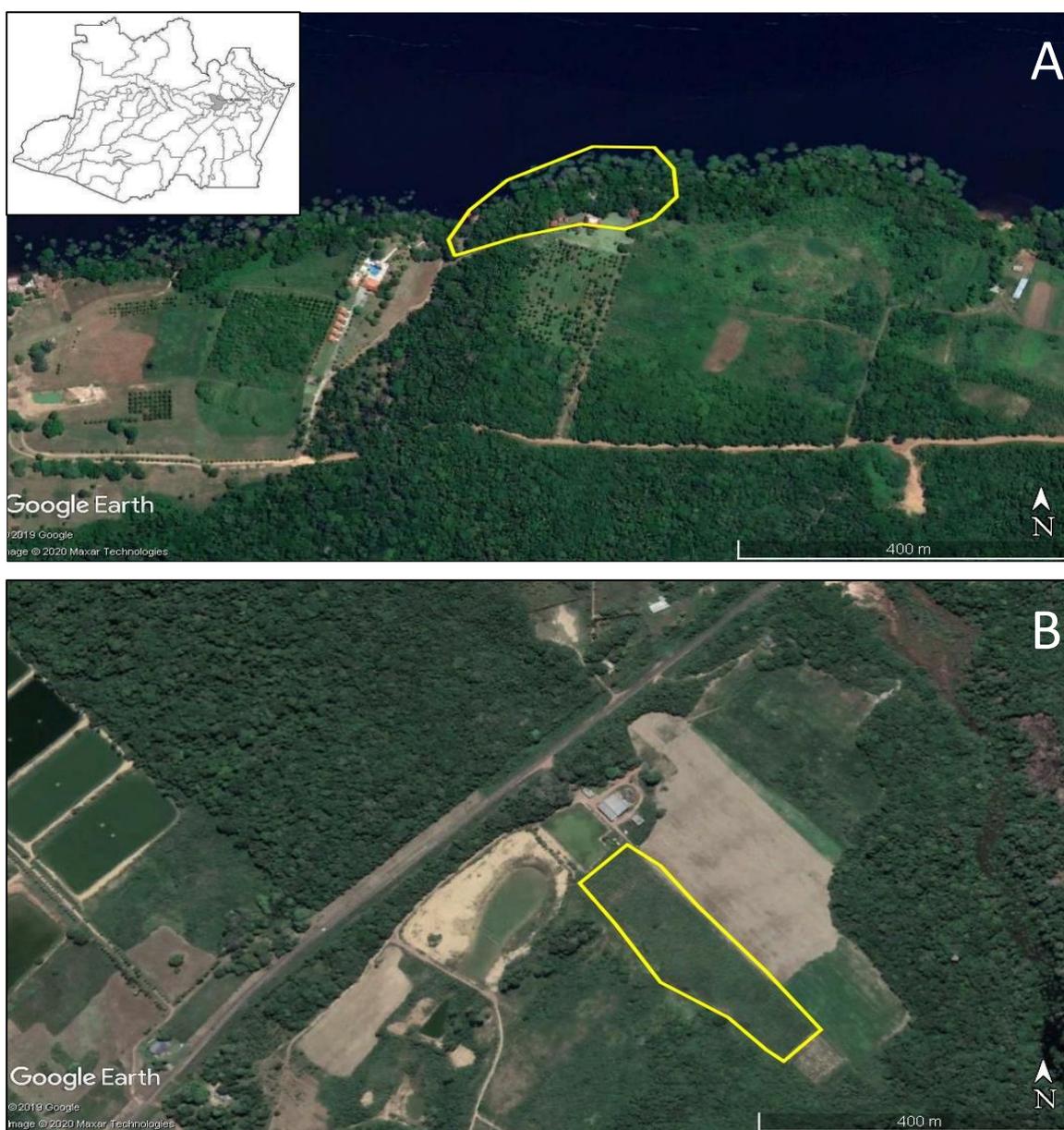


Figura 1: Localização da área de estudo do camu-camu, delimitada em amarelo. A: População nativa na Chácara Mariju/Iranduba; B: Cultivo na KXX Agroindústria/Manacapuru. Fonte: Modificado de Google Earth.

Em Iranduba, população nativa, os indivíduos de camu-camu se distribuem no igapó, as margens do Rio Negro, passando pelos períodos sazonais de seca e cheia da região (Keel and Prance 1979). Em Manacapuru, os indivíduos de camu-camu são cultivados em área de terra firme, ambiente que no geral mantém condições favoráveis para desenvolvimento e não sofre com períodos de inundações (Pires e Prance 1985). No entorno próximo é observado mata de capoeira, com presença de herbáceas, além de árvores pioneiras, como lacres (*Vismia* spp.), embaúbas (*Cecropia* sp.) e jurubebas (*Solanum* sp.).

2.2 Coleta dos visitantes florais e polinizadores do camu-camu

Foram realizadas coletas mensais de visitantes florais do camu-camu em população nativa e cultivo entre setembro/18 e setembro/19. A primeira coleta em população nativa foi em outubro/2018 e a última em setembro/2019, e em cultivo a primeira coleta foi em setembro/2018 e a última em agosto/2019. No auge da floração (produção de flores em massa) foram realizadas 5 coletas adicionais na população nativa e 5 coletas adicionais no cultivo. Nos eventos de coleta foram amostrados os visitantes florais de duas plantas, por uma dupla de coletores cada, totalizando 34 coletas. As coletas foram feitas durante 15 minutos a cada meia hora, entre 06:00 e 10:00 h, em função do horário de antese e atividade preferencial dos visitantes florais (Maués e Couturier, 2002). Cada amostragem foi dividida em oito períodos de coleta: 6:00 – 6:15 h; 6:30 – 6:45 h; 7:00 – 7:15 h; 7:30 – 7:45 h; 8:00 – 8:15 h; 8:30 – 8:45 h; 9:00 – 9:15 h; 9:30 - 9:45h. Os visitantes florais foram capturados com rede entomológica diretamente nas flores de camu-camu, acondicionados individualmente em microtubos e mortos em vapores de acetato de etila, sendo posteriormente etiquetados. Em laboratório, o pólen foi removido do corpo dos insetos com auxílio de pinças e alfinetes, sendo acondicionado em microtubo com 1 ml de álcool 70%. As abelhas foram identificadas no Laboratório de Hymenoptera do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) pelo Dr. Marcio Luiz de Oliveira e Thiago Mahlmann Vitoriano Lopes Muniz, sendo adotada a classificação do Michener (2007). Os espécimes foram depositados na coleção de invertebrados INPA.

2.3 Coleta dos visitantes florais nas plantas do entorno

As coletas dos visitantes florais nas plantas do entorno foram realizadas durante o mesmo período de amostragem que as coletas do camu-camu, de forma alternada. Cada dupla de coletores selecionou alguma espécie de planta do entorno, que estava fértil e disponível, e

fez a captura dos visitantes florais durante 15 minutos nos intervalos de coleta do camu-camu, entre 06:00 e 10:00 h. Ao final, foram realizados oito períodos de coleta em diferentes espécies de plantas do entorno: 6:15 – 6:30 h; 6:45 – 7:00 h; 7:15 – 7:30 h; 7:45 – 8:00 h; 8:15 – 8:30 h; 8:45 – 9:00 h; 9:15 – 9:30 h; 9:45 - 10:00h. Os visitantes foram capturados, o pólen foi removido e os insetos foram montados seguindo a metodologia descrita em 2.2.

2.4 Amostragem das plantas do entorno

Após a coleta dos visitantes florais, foram coletadas amostras de ramos férteis das plantas presentes no entorno e nas quais houve coleta de visitantes. O material foi armazenado após secagem para confecção de exsicatas. Um ramo foi separado para retirada de botões florais que passaram por acetólise para identificação do pólen (vide 2.5). Essas plantas e os pólenes fazem parte de um banco de dados que auxiliou na identificação dos pólenes presentes no corpo dos visitantes. As exsicatas foram classificadas conforme Cronquist (1988) e foram identificadas no herbário do INPA por José Ramos, sendo depositadas nessa coleção.

2.5 Análises palinológica

2.5.1 Amostra de pólen das plantas

As amostras das anteras de cada espécie vegetal do entorno foram maceradas, centrifugadas e os grãos de pólen acetolisados seguindo o método proposto por Erdtman (1960), com a seguinte modificação: as amostras sempre foram centrifugadas por 10 minutos a 2.000 RPM. Posteriormente foram preparadas lâminas permanentes do pólen das plantas, utilizando gelatina de kisser e parafina (Silva et al. 2010).

A partir dos botões florais coletados do camu-camu e das espécies da vegetação adjacente foi feita a acetólise e confecção de lâminas de pólen de todas as espécies. Foram coletados botões florais de todas as 71 espécies de plantas do entorno e também do camu-camu, que foram preparados através da acetólise e foi feita a confecção de lâminas permanentes. Em 28 lâminas não foi possível identificar o tipo polínico. Então, 22 tipos polínicos foram obtidos a partir do catálogo da RCPol. Em seis amostras não havia material suficiente: *Tococa subciliata* (DC.) Triana (não encontrada em nenhum banco de dados), *Lophanthera lactescens* Ducke e *Solanum stramonifolium* Jacq. (presentes na palinoteca do INPA), *Dalbergia riparia* (Mart. ex Benth.) Benth, *Genipa spruceana* Steyerl e

Stryphnodendron microstachyum Poepp. & Endl (os gêneros estão presentes na palinoteca do INPA).

2.5.2 Amostra de pólen dos insetos

As amostras de pólen do corpo dos insetos foram maceradas, centrifugadas e os grãos de pólen acetolisados seguindo o método proposto por Erdtman (1960), com modificações. As lâminas de pólen foram seladas com esmalte incolor, de maneira semi permanente. A acetólise foi feita somente com o material polínico das abelhas amostradas nas dez coletas do auge da floração.

O banco de dados obtido no item 2.5.1 auxiliou na identificação dos grãos de pólen coletados pelas abelhas por comparação, sendo analisado em parceria com a Rede de Catálogos Polínicos Online (RCPol) pela Dra. Cláudia Inês da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (UNESP).

2.6 Rede de interações

A partir dos dados binários (presença/ausência) de pólen encontrado no corpo dos visitantes e polinizadores foi construída matriz qualitativa e para os dados de visitas florais foi construída matriz quantitativa. Para as redes, foram avaliados os descritores estruturais: tamanho da rede, número de conexões possíveis, conectância e aninhamento no programa R (R Development Core Team, 2012).

O tamanho da rede representa o número de interações ocorridas entre abelhas (a) e plantas (p). A multiplicação dessas mesmas variáveis (ap) corresponde ao valor de conexões possíveis (m) na rede. A conectância é calculada pela divisão do número de conexões possíveis (m) pelo tamanho da rede. O aninhamento é basicamente uma métrica onde se nota uma progressão de conjuntos inclusivos (Lewinsohn et al. 2006).

Para medir a força da interação entre as espécies de plantas e seus visitantes foram analisados os dados ponderados, em que quanto maior a quantidade de indivíduos coletados em uma planta, maior a força. Os gráficos bipartidos foram plotados com uso dos pacotes Bipartite (Dormann et al. 2008), Igraph (Csard e Nepusz, 2006) e Network (Butts, 2015) no programa R (R Development Core Team, 2012). Também foi calculada a especialização complementar (H_2') na rede de interação, esse índice avalia o quanto as interações de cada

espécie diferenciam-se das outras na rede de interação e varia de 0 (todas as abelhas interagindo com as mesmas plantas) a 1 (cada abelha interagindo com um subconjunto de plantas).

2.7 Análises estatísticas

A riqueza e abundância relativa foram estimadas para as abelhas em cada área, onde riqueza é a quantidade de espécies e abundância relativa é a quantidade de indivíduos de determinada espécie (Pianka, 1994). Para medir o índice de diversidade na comunidade de abelhas foi utilizado o método Shannon-Weaver (H), que considera peso igual entre as espécies raras e comuns (Magurran, 1988). E também o índice de Simpson (D), que mede a probabilidade de dois indivíduos selecionados ao acaso na amostra pertencerem à mesma espécie (Brower e Zarr, 1984). A similaridade entre a comunidade de abelhas e a comunidade de plantas nas duas áreas foi calculada através do índice Jaccard (j), que indica a proporção de espécies compartilhada entre duas amostras (Real e Vargas, 1996). Esses índices foram calculados utilizando o programa PAST (Paleontological Statistics) versão 3.14 (Hammer et al. 2001).

3. RESULTADOS

3.1 Visitantes florais

Foram coletados 1802 insetos na população nativa e 2835 no cultivo, totalizando 4637 indivíduos. Destes, 4412 são abelhas, que foram amostradas 104 espécies de três famílias (Colletidae, Halictidae e Apidae) e elas serão o foco das análises do nosso trabalho, sendo 34 espécies comuns às duas áreas (Tabela 1). Os 225 insetos restantes pertencem as ordens Coleoptera, Diptera, Hymenoptera e Lepidoptera, que serão analisados quando for feita a identificação das espécies.

Tabela 1 – Abelhas visitantes florais em camu-camu e vegetação adjacente em população nativa/ Irlanduba e cultivo/ Manacapuru, entre Setembro/2018 e Setembro/2019.

Família/Tribo (Nº de espécies)	Espécies	Nativa	Cultivo
Colletidae (2)			
Hylaeini	<i>Hylaeus</i> sp. 1		1
	<i>Hylaeus</i> sp. 2	1	
Halictidae (25)			
Augochlorini	<i>Augochlora</i> sp. 1*	15	1
	<i>Augochlora</i> sp. 2	4	

	<i>Augochlora</i> sp. 3	4	
	<i>Augochlora</i> sp. 4	3	
	<i>Augochloropis</i> sp. 1*	13	36
	<i>Augochloropis</i> sp. 2		3
	<i>Augochloropis</i> sp. 3		2
	<i>Augochloropis</i> sp. 4		2
	<i>Augochloropis</i> sp. 5		1
	<i>Augochloropis</i> sp. 6		1
	<i>Augochloropis</i> sp. 7		6
	<i>Augochloropis</i> sp. 8*	24	9
	<i>Augochloropis</i> sp. 9		83
	<i>Megalopta amoena</i> (Spinola, 1853)*	7	2
	<i>Megalopta</i> sp. 1	2	
	<i>Megaloptina</i> sp. 1*	1	3
	<i>Megaloptina</i> sp. 2	1	
	<i>Pereirapis</i> sp. 1*	23	1
	<i>Pseudaugochlora graminea</i> (Fabricius, 1804)	1	
	<i>Temmosoma</i> sp. 1	1	
	<i>Xenochlora ianthina</i> (Smith, 1861)		2
	<i>Xenochlora</i> sp. 1	2	
Halictini	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 1		3
	<i>Lasioglossum (Dialictus)</i> sp. 2	3	
	<i>Lassioglossum</i> sp.		1
Apidae (77)			
Apini	<i>Apis mellifera</i> Linnaeus 1758*	143	935
	<i>Eufriesea surinamensis</i> (Linnaeus, 1758)	1	
Adreninae	<i>Oxaea festiva</i> Smith, 1854	1	
	<i>Oxaea flavescens</i> (Klug, 1807)	1	
Bombinae	<i>Bombus transversalis</i> (Oliver, 1789)	1	
Centridini	<i>Centris aenea</i> Lepeletier, 1841		1
	<i>Centris (Heterocentris) analis</i> (Fabricius, 1804)		1
	<i>Centris (Ptilotopus) denudans</i> Lepeletier, 1841*	3	1
	<i>Centris (Centris) flavifrons</i> (Fabricius, 1775)		1
	<i>Centris (Hemisiella) merrillae</i> Cockerell, 1919	1	
	<i>Centris (Centris) nitens</i> Lepeletier, 1841		4
	<i>Centris (Ptilotopus) superba</i> Ducke, A. (1904)		1
	<i>Centris</i> sp. 1		2
	<i>Centris terminata</i> Smith, 1874		1
	<i>Epicharis (Epicharis) umbraculata</i> (Fabricius, 1804)*	4	20
	<i>Epicharis (Parepicharis) zonata</i> Smith, 1854		17
Euglossini	<i>Euglossa (Euglossa) modestior</i> Dressler, 1982	1	
	<i>Euglossa</i> sp.1*	5	4
	<i>Euglossa</i> sp. 2	1	

	<i>Euglossa</i> sp. 3	1	
	<i>Euglossa</i> sp. 4		1
	<i>Euglossa</i> sp. 5	1	
	<i>Eulaema nigrita</i> Lepeletier		3
	<i>Florilegus (Euflorelegus) festivus</i> (Smith, 1854)		1
Exomalopsini	<i>Exomalopsis (Exomalopsis) analis</i> Spinola, 1853*	1	6
	<i>Exomalopsis (Exomalopsis) auropilosa</i> Spinola, 1853*	11	48
	<i>Exomalopsis (Exomalopsis) cf. auropilosa</i> Spinola, 1853		1
	<i>Exomalopsis</i> sp. 1		1
Meliponini	<i>Aparatrigona</i> sp. 1*	1	1
	<i>Cephalotrigona femorata</i> (Smith, 1854)		36
	<i>Frieseomelitta aff. flavicornis</i> (Fabricius, 1798)		7
	<i>Frieseomelitta flavicornis</i> (Fabricius, 1798)*	1	8
	<i>Frieseomelitta longipes</i> (Smith, 1854)*	1	293
	<i>Melipona fuliginosa</i> Lepeletier, 1836	1	
	<i>Melipona (Michmelia) fulva</i> Lepeletier, 1836		2
	<i>Melipona interrupta</i> Latreille, 1811	20	
	<i>Melipona rufiventris brachychaeta</i> Moure, 1950 *	56	43
	<i>Melipona (Michmelia) seminigra merrillae</i> Cockerell, 1919*	187	351
	<i>Nannotrigona schultzei</i> (Friese, 1901)	1	
	<i>Partamona ferreirai</i> Pedro e Camargo, 2003	4	
	<i>Partamona mourei</i> Camargo, 1980		14
	<i>Partamona testacea</i> (Klug, 1807)	5	
	<i>Partamona vicina</i> Camargo, 1980*	12	30
	<i>Plebeia</i> sp. 1	1	
	<i>Ptilotrigona lurida</i> (Smith, 1854)*	7	192
	<i>Scaptotrigona nigrohirta</i> Moure, 1968	440	
	<i>Scaptotrigona</i> sp. 1		133
	<i>Schwarzula timida</i> (Silvestri, 1902)*	6	1
	<i>Trigona amazonensis</i> (Ducke, 1916)*	26	132
	<i>Trigona dalatorreana</i> Friese, 1900*	3	152
	<i>Trigona aff. fuscipennis</i> Friese, 1900		12
	<i>Trigona guianae</i> Cockerell, 1910*	164	31
	<i>Trigona pallens</i> (Fabricius, 1798)	84	
	<i>Trigona recursa</i> Smith, 1863	1	
	<i>Trigona</i> sp. 1		1
	<i>Trigona williana</i> Friese, 1900*	295	1
	<i>Trigonisca</i> sp. 1*	1	1
Osirini	<i>Osiris</i> sp. 1*	2	1
	<i>Paratetrapedia (Tropidopedia) duckei</i> (Friese, 1910)*	36	6
	<i>Paratetrapedia romani</i> (Friese, 1923)	16	

	<i>Paratetrapedia</i> sp. 1*	10	16
	<i>Paratetrapedia</i> sp. 2*	1	8
	<i>Paratetrapedia</i> sp. 3	1	
	<i>Paratetrapedia</i> sp. 4*	1	1
	<i>Paratetrapedia</i> sp. 5	1	
	<i>Paratetrapedia</i> sp. 6		2
	<i>Paratetrapedia</i> sp. 7	2	
	<i>Paratetrapedia testacea</i> (Smith, 1854)*	13	5
	<i>Tropidopedia</i> sp. 1	1	
	<i>Tropidopedia</i> sp. 2		1
Xylocopini	<i>Ceratina (Crewella)</i> sp. 1	1	
	<i>Ceratina (Crewella)</i> sp. 2		5
	<i>Ceratina (Crewella)</i> sp. 3		2
	<i>Xylocopa (Neoxylocopa) frontalis</i> (Olivier, 1789)*	4	1
	<i>Xylocopa (Schonherria) muscaria</i> (Fabricius, 1775)		1
	<i>Xylocopa (Neoxylocopa) similis</i> Smith, 1874*	11	1
	<i>Xylocopa</i> sp. 1 *	14	3
Total		1712	2700

*Espécies amostradas em população nativa e cultivo

3.2 Abelhas visitantes florais

Os visitantes florais com maior riqueza e abundância foram às abelhas. A família com maior riqueza foi Apidae com 4150 indivíduos de 77 espécies, seguida por Halictidae com 260 indivíduos de 25 espécies e Colletidae que foi representada somente por dois indivíduos de duas espécies (Tabela 1). As duas primeiras famílias também são as mais representativas em outras regiões do Brasil (Pinheiro-Machado et al. 2002).

Os gêneros com maior riqueza foram *Paratetrapedia* com 10 espécies, *Augochloropsis* com nove espécies, *Centris* com nove espécies, *Trigona* com oito espécies, *Euglossa* com seis espécies e *Melipona* com cinco espécies. Várias espécies tiveram poucos indivíduos coletados, sendo 39 espécies com um único indivíduo e 14 espécies com apenas dois indivíduos, somados, representam 1,52% do total.

Na população nativa de camu-camu e vegetação adjacente, a espécie mais abundante coletada foi *Scaptotrigona nigrohirta* (9,98%), sendo amostrados os 440 indivíduos desse estudo. Outras espécies abundantes foram *Trigona williana* (6,69%), *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae* (4,24%), *Trigona guianae* (3,72%) e *Apis mellifera* (3,24%). No cultivo de camu-camu e vegetação adjacente, *Apis mellifera* foi dominante (21,21%). Outras espécies

abundantes foram *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae* (7,96%) e *Frieseomelitta longipes* (6,64%). Todas as espécies são de abelhas sociais e, exceto por *Apis mellifera*, são nativas região. Essas abelhas nativas são da tribo Meliponini, sendo um grupo importante nesse estudo.

3.3 Riqueza, abundância e diversidade de abelhas

A riqueza e abundância das espécies coletadas em ambiente nativo mostram que o período de maior atividade das abelhas foi entre os meses de novembro/2018 e janeiro/2019, com auge de atividade em dezembro, coincidindo com o período de floração do camu-camu. Posteriormente, houve declínio lento até chegar à zero, quando o ambiente estava alagado pelo rio (Fig. 2A). Já em cultivo, a riqueza e abundância das espécies de abelhas mostra maior atividade entre os meses de outubro/2018 e janeiro/2019, com auge de atividade no mês de novembro, coincidindo com o período de floração do camu-camu. Então, houve declínio lento na atividade das abelhas e se estabilizou até agosto, mês da última coleta nesse ambiente (Fig. 2B).

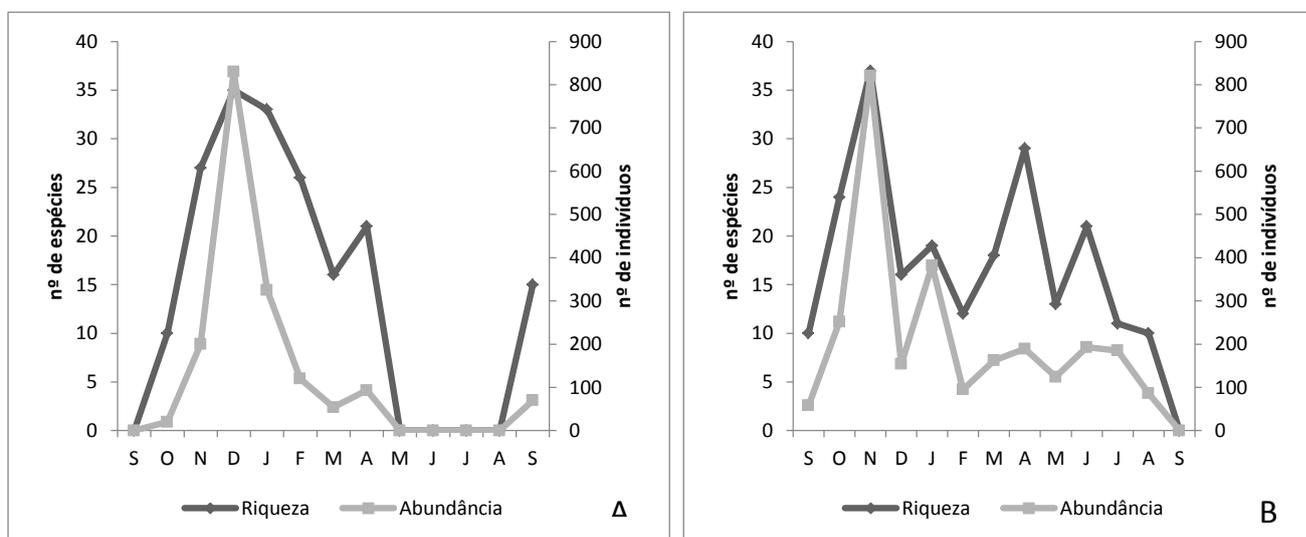


Figura 2: Número de indivíduos e espécies amostrados em camu-camu e plantas do entorno entre setembro/2018 e setembro/2019. A: Nativo/Iranduba; B: Cultivo/Manacapuru.

Em população nativa, os índices de diversidade de espécies Shannon (H) e Simpson (D) foram 2,600 e 0,870, respectivamente. Já em cultivo, H= 2,442 e D= 0,836, valores menores dos encontrados na outra área, mas pouco dissimilares.

3.4 Plantas adjacentes de população nativa e cultivo

Ao todo foram coletados ramos férteis de 71 espécies de plantas no entorno pertencentes a 29 famílias botânicas. A família mais diversa foi Leguminosae com 12 espécies, seguida de Rubiaceae com nove espécies e Asteraceae com sete espécies. Para as outras famílias foram registradas de uma a quatro espécies. Apenas seis espécies de plantas foram coletadas em ambas as áreas (Tabela 2).

Nenhuma planta foi registrada florindo durante todo o período de estudo, existindo sazonalidade dos recursos florais utilizados pelas abelhas. Em ambiente nativo, a maior riqueza de plantas com recursos ocorreu em novembro (11 spp.), dezembro (11 spp.) e janeiro (14 spp.), coincidindo com o período de máxima atividade das abelhas (Figura 2). As espécies de plantas do entorno que mais atraíram abelhas foram *Borreria hyssopifolia* e *Stachyarrhena spicata*. Em cultivo, a maior riqueza de plantas com recurso foi em outubro (16 spp.) e novembro (18 spp.), também coincidindo com período de grande atividade das abelhas. As espécies de plantas do entorno que mais atraíram abelhas foram *Mimosa pudica*, *Rhynchospora pubera* e *Vernonanthura phosphorica*.

Tabela 2 - Famílias, espécies de plantas e número total de abelhas visitantes florais coletadas no entorno das populações de camu-camu nativo/ Irlanduba e cultivo/ Manacapuru, entre setembro/2018 e outubro/2019.

Famílias (Nº de espécies)	Espécies de plantas do entorno	Visitantes população nativa	Visitantes cultivo
Annonaceae (1)	<i>Xylopia aromatica</i> (Lam.) Mart.		2
Arecaceae (1)	<i>Leopoldinia pulchra</i> Mart.	1	
Asteraceae (7)	<i>Bidens pilosa</i> L.		5
	<i>Emilia fosbergii</i> Nicolson		4
	<i>Melanthera latifolia</i> (Gardner) Cabrera	22	
	<i>Praxelis</i> cf. <i>diffusa</i> *	1	6
	<i>Sphagneticola trilobata</i> (L.) Pruski		23
	<i>Unxia camphorata</i> L.		24
	<i>Vernonanthura phosphorica</i> (Vell.) H. Rob.		125
Bignoniaceae (2)	<i>Bignonia aequinoctialis</i> L.	0	
	<i>Tabebuia barbata</i> (E. Mey.) Sandwith	5	
Chrysobalanaceae (2)	<i>Couepia paraensis</i> (Mart. & Zucc.) Benth.	1	
	<i>Licania apetala</i> (E. Mey.) Fritsch	28	
Commelinaceae (1)	<i>Commelina erecta</i> L.		0

Convolvulaceae (2)	<i>Bonamia ferruginea</i> (Choisy) Hallier f.		6
	<i>Jacquemontia tamnifolia</i> (L.) Griseb		1
Cyperaceae (1)	<i>Rhynchospora pubera</i> (Vahl) Boeck.		131
Euphorbiaceae (4)	<i>Croton lobatus</i> L.		18
	<i>Croton</i> cf. <i>lundianus</i> (Didr.) Müll.Arg		42
	<i>Euphorbia heterophylla</i> L.		3
	<i>Podocalyx loranthoides</i> Klotzsch		27
Leguminosae-caes (3)	<i>Campsiandra angustifolia</i> Spruce ex Benth	23	
	<i>Dimorphandra pennigera</i> Tul.	3	
	<i>Senna alata</i> (L.) Roxb.	2	
Leguminosae-mim (5)	<i>Mimosa pudica</i> L.*	51	356
	<i>Mimosa</i> cf. <i>rufescens</i> Benth.		59
	<i>Stryphnodendron microstachyum</i> Poepp. & Endl		83
	<i>Zygia ampla</i> (Spruce ex Benth.) Pittier	4	
	<i>Zygia cataractae</i> (Kunth) L.Rico	70	
Leguminosae-pap (4)	<i>Dalbergia riparia</i> (Mart. ex Benth.) Benth.	33	
	<i>Desmodium incanum</i> DC.		1
	<i>Clitoria javitensis</i> (Kunth) Benth	3	
	<i>Machaerium ferox</i> (Mart. ex Benth.) Ducke	3	
Hypericaceae (2)	<i>Vismia cayennensis</i> (Jacq.) Pers.		12
	<i>Vismia guianensis</i> (Aubl.) Choisy		18
Lamiaceae (1)	<i>Hyptis atrorubens</i> Poit.		64
Lecythidaceae (1)	<i>Eschweilera tenuifolia</i> (O.Berg) Miers	38	
Lythraceae (1)	<i>Cuphea gracilis</i> Kunth		7
Malpighiaceae (3)	<i>Byrsonima chrysophylla</i> Kunth		76
	<i>Lophanthera lactescens</i> Ducke	4	
	<i>Stigmaphyllon sinuatum</i> (DC.) A.Juss		18
Malvaceae (3)	<i>Guazuma ulmifolia</i> Lam.	4	
	<i>Pavonia cancellata</i> (L.) Cav.		0
	<i>Urena lobata</i> L.		91
Melastomataceae (3)	<i>Clidemia capitellata</i> (Bonpl.) D.Don		7
	<i>Clidemia hirta</i> (L.) D.Don*	14	12
	<i>Tococa</i> cf. <i>subciliata</i> (DC.) Triana	5	
Myrsinaceae (2)	<i>Cybianthus spicatus</i> (Kunth) G.Agostini		0
	<i>Stylogyne micans</i> Mez	8	
Myrtaceae (1)	<i>Eugenia</i> cf. <i>egensis</i> DC.	3	
Oxalidaceae (1)	<i>Oxalis barrelieri</i> L	1	
Passifloraceae (1)	<i>Passiflora micropetala</i> Mart. ex Mast.	5	
Rubiaceae (9)	<i>Borreria hyssopifolia</i> (Willd. ex Roem. & Schult.) Bacigalupo & E.L.Cabral	202	
	<i>Borreria latifolia</i> (Aubl.) K.Schum		119
	<i>Borreria spinosa</i> Cham. et Schltldl	5	

	<i>Genipa spruceana</i> Steyerm	53	
	<i>Mitracarpus hirtus</i> (L.) DC.	0	
	<i>Psychotria hoffmannseggiana</i> (Ruiz & Pav.) Müll.Arg	16	
	<i>Stachyarrhena spicata</i> Hook.f.	279	
	<i>Tocoyena formosa</i> (Cham. & Schltdl.) K.Schum	0	
	<i>Warszewiczia coccinea</i> (Vahl) Klotzsch	26	
Salicaceae (1)	<i>Casearia spruceana</i> Benth. ex Eichler	0	
Simaroubaceae (2)	<i>Simaba orinocensis</i> Kunth	0	
Solanaceae (3)	<i>Solanum crinitum</i> Lam.		13
	<i>Solanum paniculatum</i> L.*	7	23
	<i>Solanum appressum</i> K.E.Roe		0
Turneraceae (1)	<i>Piriqueta cistoides</i> (L.) Griseb*	3	6
Urticaceae (1)	<i>Cecropia</i> sp.		5
Verbenaceae (2)	<i>Lantana camara</i> L.		15
	<i>Stachytarpheta cayennensis</i> (Rich.) Vahl*	10	98
Vitaceae (1)	<i>Cissus verticillata</i> (L.) Nicolson & C.E.Jarvis	0	
Total	71	933	1500

*Espécies amostradas no entorno em população nativa e cultivo

3.5 Rede de interações das visitas de abelhas

O número de espécie de abelhas (a) e o número de espécies de plantas (p) foi maior em terra firme, conseqüentemente, a quantidade de conexões possíveis (pa) também foi maior nessa área. O valor de conectância mostra que 9,2% das interações possíveis estão ocorrendo em população nativa e que 10,6% das interações possíveis estão ocorrendo em cultivo. O aninhamento foi de 4,16 em ambiente nativo e de 7,52 em cultivo, sendo evidentes na rede (Fig. 3 e 4). O único valor que se mostrou maior em ambiente nativo foi à especialização complementar (H2'). A similaridade foi maior entre as espécies de abelhas do que entre as espécies de plantas (Tabela 3).

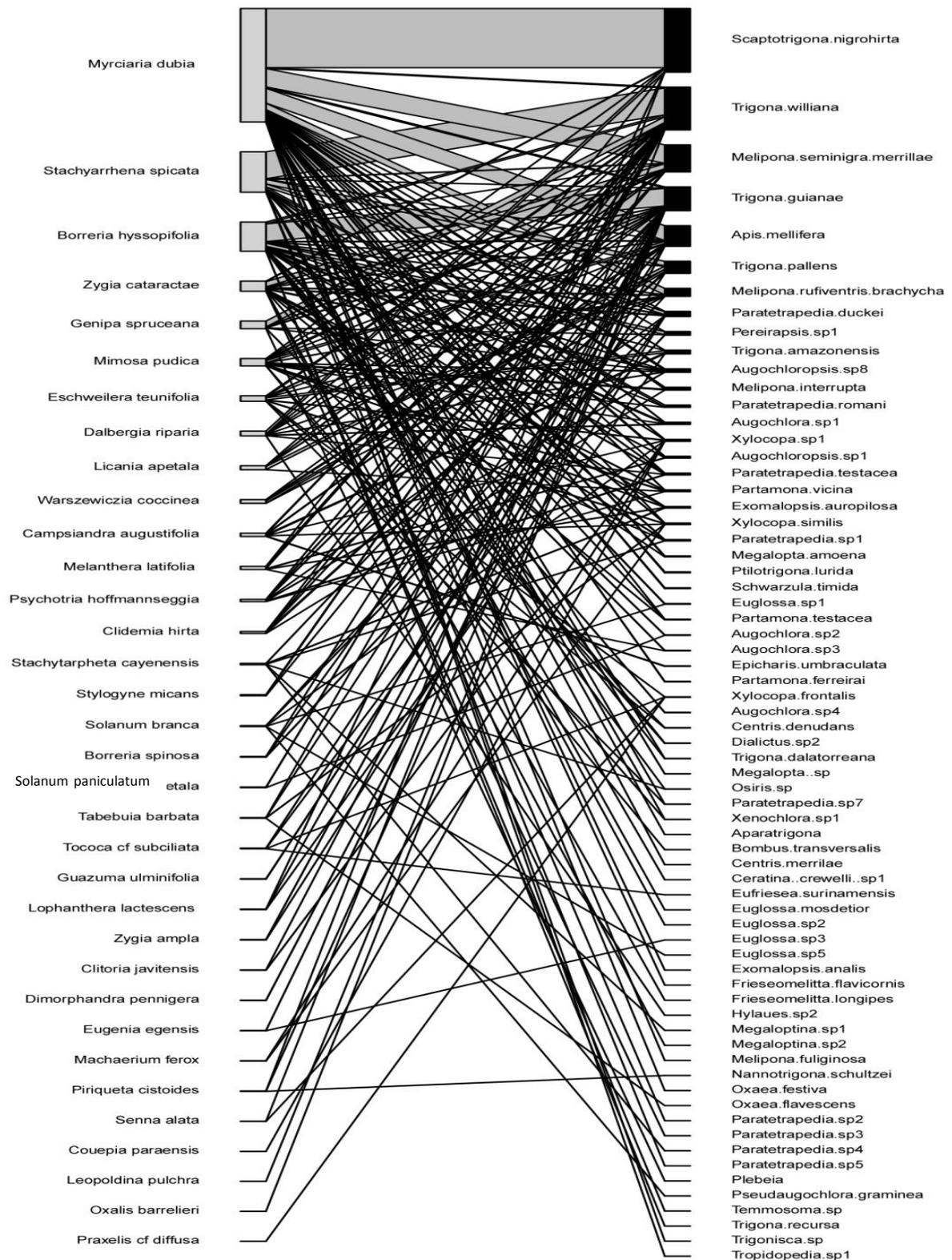


Figura 3: Rede de interações quantitativas planta-abelha do camu-camu e vegetação adjacentes em ambiente nativo/igapó entre setembro/2018 e setembro/2019. A coluna da esquerda representa às plantas e a coluna da direita as abelhas. A espessura da linha de cada espécie representa a abundância e a espessura das linhas que conectam os dois grupos revela a força de interação quantitativa das conexões.

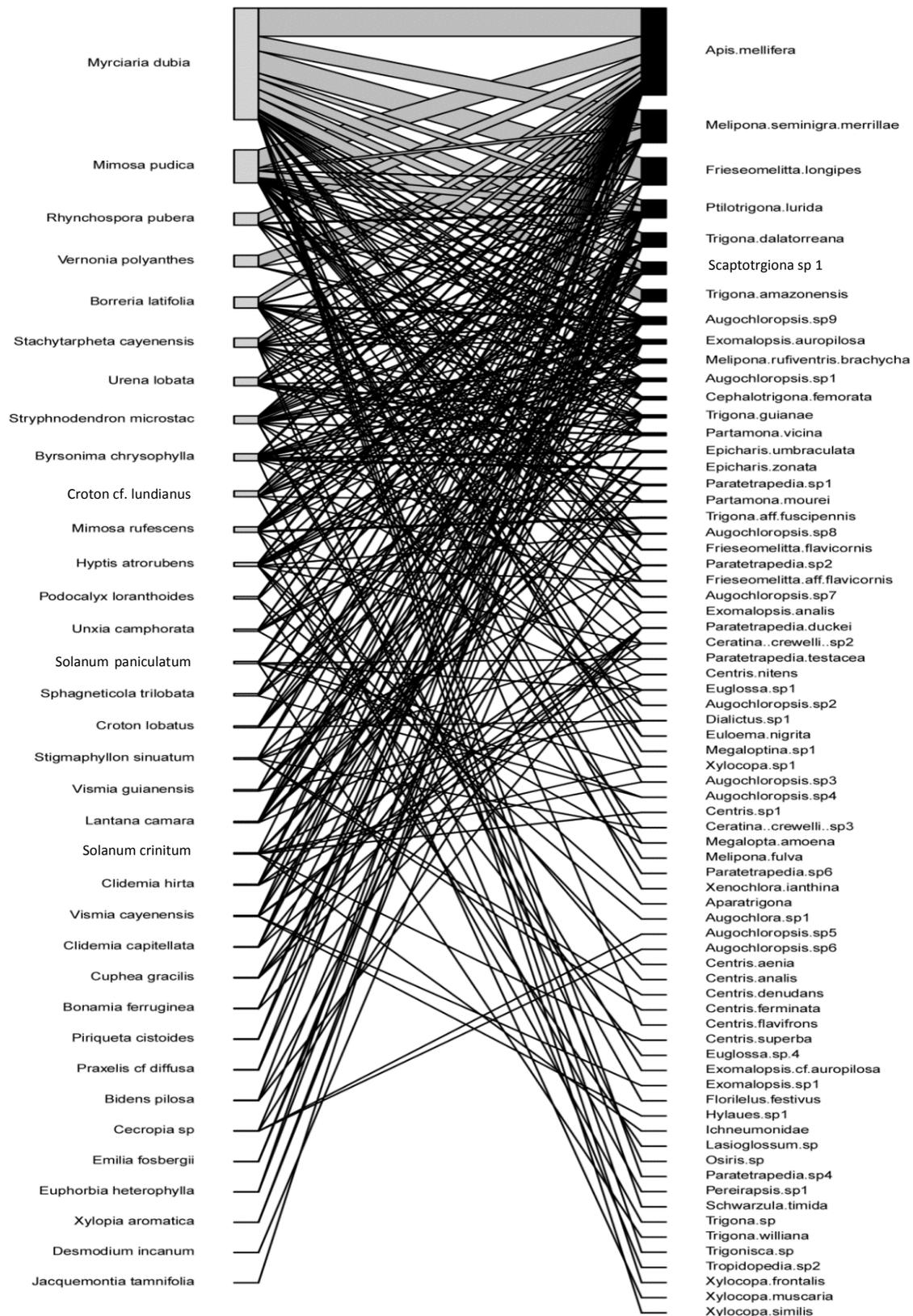


Figura 4: Rede de interações quantitativas planta-abelha do camu-camu e vegetação adjacentes em cultivo/terra firme entre setembro/2018 e setembro/2019. A coluna da esquerda representa às plantas e a coluna da direita as abelhas. A espessura da linha de cada espécie representa a abundância e a espessura das linhas que conectam os dois grupos revela a força de interação quantitativa das conexões.

Em ambiente nativo, seis espécies de plantas foram responsáveis por 10 ou mais interações de visitas, sendo o conjunto dessas espécies responsáveis por 116 interações (54,46%) da rede. A espécie *Myrciaria dubia* teve 34 interações (15,96%), *Borreria hyssopifolia* teve 23 interações (10,80%), *Stachyarrhenna spicata* teve 18 interações (8,45%), *Zygia cataractae* teve 16 interações (7,51%), *Mimosa pudica* teve 15 interações (7,04%) e *Eschweilera teunifolia* teve 10 interações (4,69%).

Das abelhas, quatro espécies apresentaram 10 interações ou mais, sendo o conjunto dessas espécies responsáveis por 60 interações (28,17%) da rede. A espécie *Trigona guianae* teve 22 interações (10,33%), *Trigona williana* teve 17 interações (7,98%), *Apis mellifera scutellata* teve 11 interações (5,16%) e *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae* teve 10 interações (4,69%).

No cultivo, sete espécies de plantas apresentaram mais de 10 interações, sendo o conjunto dessas espécies responsáveis por 128 interações (48,67%) da rede. A espécie *Myrciaria dubia* teve 28 interações (10,65%), *Mimosa pudica* teve 23 interações (8,74%), *Stryphnodendron microstachyum* teve 16 interações (6,08%), *Stachytarpheta cayenensis* teve 14 interações (5,32%), *Hyptis atrorubens* teve 13 interações (4,94%), *Borreria latifolia* e *Byrsonima chrysophylla* tiveram 12 interações cada (4,56% cada).

Das abelhas, quatro espécies apresentaram 13 interações ou mais, sendo o conjunto dessas espécies responsáveis por 76 interações (28,90%) da rede. A espécie *Apis mellifera* teve 28 interações (10,65%), *Ptilotrigona lurida* teve 20 interações (7,60%), *Exomalopsis auropilosa* teve 15 interações (5,70%), *Augochloropsis* sp. 9 teve 13 interações (4,94%).

Tabela 3 – Métricas da rede de interações do camu-camu e plantas adjacentes de ambiente nativo e cultivo

Valores e Métricas	Nativo	Cultivo
Espécies plantas (p)	34	35
Espécies abelhas (a)	68	70
Tamanho da rede	213	263
Conexões Possíveis (m)	2312	2450
Conectância	0,092	0,106
H2'	0,521	0,323
Similaridade Abelhas (j)		0,336
Similaridade Plantas (j)		0,123

3.6 Análises palinológicas e rede de interações qualitativas dos pólen

Foram coletados botões florais de todas as 71 espécies de plantas do entorno e também do camu-camu, que foram preparados através da acetólise e foi feita a confecção de lâminas permanentes. Em 28 lâminas não foi possível identificar o tipo polínico. Então, 22 tipos polínicos foram obtidos a partir do catálogo da RCPol.

Para as análises palinológicas, foram analisadas somente as abelhas coletadas no auge da floração, totalizando 1436 abelhas, das quais foram removidas 261 amostras de pólen. Esse pólen removido das pernas e da lavagem no corpo dos indivíduos e foram posteriormente acetolizados. Amostras de pólen de um único indivíduo/abelha não apresentaram resultado, provavelmente em função da pouca quantidade de material disponível, que deve ter sido perdido no processo de acetólise. Amostras de pólen de mais de um indivíduo da mesma espécie e do mesmo dia de coleta foram agrupados por espécie de abelha. O pólen de outros insetos não foi analisado, pois não havia amostras do auge da floração.

As amostras de pólen observadas foram classificadas em dois grupos: direto, onde o tipo polínico encontrado no corpo da abelha pertence a espécie na qual ela foi coletada; indireto, onde o tipo polínico encontrado na abelha pertence a outra espécie e não aquela em que foi coletada (tabela 4). Dentro dessa análise, seis tipos polínicos não foram identificados mesmo com auxílio do banco de dados e foram mantidos como indeterminados.

Grande parte das abelhas interage com mais de uma espécie de planta, carregando diferentes tipos de grãos de pólen. O tipo polínico mais frequente no auge da floração em população nativa foi *Myrciaria dubia*, enquanto no auge da floração em cultivo houve mesma frequência de *Myrciaria dubia* e *Byrsonima chrysophylla* (Fig 5 e 6). Em população nativa também se destacaram os pólenes de *Borreria hyssopifolia*, *Eugenia egensis*, *Melanthera latifolia*, *Mimosa pudica*, *Senna allata*, *Solanum paniculatum* e *Stachyarrhena spicata*. Em cultivo se destacaram *Clidemia hirta*, *Mimosa pudica*, *Mimosa rufescens*.

Tabela 4 – Tipos polínicos encontrados em visitantes florais de *Myrciaria dubia* e entorno em população nativa e cultivo, e o tipo de classificação do pólen.

Espécie abelha	Tipo polínico	Nativo	Cultivo
<i>Apis mellifera</i>	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
	<i>Borreria latifolia</i>		X
	<i>Byrsonima chrysophylla</i>	X	X
	<i>Clidemia hirta</i>		X
	<i>Desmodium incanum</i>		X
	<i>Euphorbia heterophylla</i>		X
	<i>Eugenia egensis</i>	X	
	<i>Hibiscus rosa-chinesis*</i>		X
	<i>Mimosa pudica</i>		X
	<i>Mimosa rufescens</i>		X
	<i>Myrciaria dubia</i>	X	X
	<i>Nephelium lappaceum*</i>		X
	<i>Piriqueta cistoides</i>		X
	<i>Podocalyx loranthoides</i>		X
	<i>Solanum paniculatum</i>	X	X
	<i>Tocoyena formosa</i>	X	
	Vochysiaceae*	X	X
	<i>Zygia</i> sp.	X	
	Indeterminado sp. 2	X	
	Indeterminado sp. 6		X
<i>Augochlora</i> sp. 1	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
<i>Augochlora</i> sp. 3	<i>Byrsonima chrysophylla</i>	X	
	<i>Melanthera latifolia</i>	X	
	<i>Myrciaria dubia</i>	X	
	<i>Borreria latifolia</i>		X
<i>Augochloropsis</i> sp. 1	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
<i>Centris analis</i>	<i>Stigmaphyllon sinuatum</i>		X
	<i>Solanum paniculatum</i>		X
<i>Centris nitens</i>	<i>Solanum crinitum</i>		X
	Indeterminado sp. 3		X
	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
	<i>Myrciaria dubia</i>		X
<i>Cephalotrigona femorata</i>	<i>Nephelium lappaceum</i>		X
	<i>Solanum paniculatum</i>		X
	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
	<i>Solanum crinitum</i>		X
<i>Epicharis (Epicharis) umbraculata</i>	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
	<i>Solanum crinitum</i>		X
	<i>Lantana camara</i>		X
	<i>Myrciaria dubia</i>		X
	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
<i>Epicharis (Parepicharis) zonata</i>	<i>Solanum crinitum</i>		X
	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
<i>Euglossa</i> sp. 1	<i>Clidemia hirta</i>		X
	<i>Mimosa pudica</i>		X
	<i>Mimosa rufescens</i>		X
	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
	<i>Solanum crinitum</i>		X

	<i>Xylopia aromatica</i>		X
<i>Frieseomelitta aff flavicornis</i>	<i>Myrciaria dubia</i>		X
<i>Frieseomelitta longipes</i>	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
	<i>Clidemia hirta</i>		X
	<i>Myrciaria dubia</i>		X
	<i>Piriqueta cistoides</i>		X
	<i>Urena lobata</i>		X
<i>Megalopta amoena</i>	<i>Myrciaria dubia</i>	X	
<i>Melipona interrupta</i>	<i>Byrsonima chrysophylla</i>	X	
	<i>Clidemia hirta</i>	X	
	<i>Senna alata</i>	X	
	<i>Solanum paniculatum</i>	X	
<i>Melipona rufiventris brachychaeta</i>	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
	<i>Casearia spruceana</i>	X	
	<i>Eugenia egensis</i>	X	
	<i>Myrciaria dubia</i>	X	X
	<i>Solanum paniculatum</i>	X	
<i>Melipona (Michmelia) seminigra merrillae</i>	<i>Bignonia aequinoctials</i>	X	
	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
	<i>Borreria latifolia</i>		X
	<i>Borreria spinosa</i>	X	
	<i>Byrsonima chrysophylla</i>	X	X
	<i>Clidemia hirta</i>	X	X
	<i>Eugenia egensis</i>	X	
	<i>Euphorbia heterophylla</i>		X
	<i>Hibiscus rosa-chinesis*</i>		X
	<i>Mimosa pudica</i>	X	X
	<i>Mimosa rufescens</i>		X
	<i>Myrciaria dubia</i>		X
	<i>Nephelium lappaceum*</i>		X
	<i>Senna alata</i>	X	
	<i>Solanum crinitum</i>		X
	<i>Stachytarpheta cayennensis</i>		X
	<i>Vochysiaceae*</i>	X	X
	<i>Zygia sp.</i>	X	
	<i>Indeterminado sp. 4</i>	X	
<i>Paratetrapedia duckei</i>	<i>Byrsonima chrysophylla</i>	X	
	<i>Myrciaria dubia</i>	X	
	<i>Solanum paniculatum</i>	X	
	<i>Stachyarrhena spicata</i>	X	
<i>Partamona testacea</i>	<i>Eugenia egensis</i>	X	
	<i>Myrciaria dubia</i>	X	
<i>Partamona vicina</i>	<i>Mimosa pudica</i>	X	
<i>Scaptotrigona nigrohirta</i>	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
	<i>Clidemia hirta</i>	X	
	<i>Cocos nucifera</i>	X	
	<i>Eugenia egensis</i>	X	
	<i>Melanthera latifolia</i>	X	

	<i>Myrciaria dubia</i>	X	
	<i>Zygia</i> sp.	X	
	Indeterminado sp. 1	X	
<i>Scaptotrigona</i> sp. 1	<i>Cuphea gracilis</i>		X
	<i>Myrciaria dubia</i>		X
	Vochysiaceae		X
<i>Trigona amazonenses</i>	<i>Myrciaria dubia</i>		X
<i>Trigona dalatorreana</i>	<i>Borreria latifolia</i>		X
	<i>Desmodium incanum</i>		X
	<i>Mimosa rufescens</i>		X
	<i>Myrciaria dubia</i>		X
	<i>Solanum paniculatum</i>		X
<i>Trigona guianae</i>	<i>Byrsonima chrysophylla</i>		X
	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
	<i>Borreria spinosa</i>	X	
	<i>Myrciaria dubia</i>	X	
<i>Trigona pallens</i>	<i>Eugenia egensis</i>	X	
	<i>Stachyarrhena spicata</i>	X	
	<i>Stylogyne micans</i>	X	
<i>Trigona williana</i>	<i>Anacardium occidentale</i> *	X	
	<i>Bignonia aequinoctialis</i>	X	
	<i>Borreria hyssopifolia</i>	X	
	<i>Couepia paraenses</i>	X	
	<i>Eugenia egensis</i>	X	
	<i>Melanthera latifolia</i>	X	
	<i>Myrciaria dubia</i>	X	
	<i>Senna alata</i>	X	
	<i>Solanum paniculatum</i>	X	
	<i>Stachyarrhena spicata</i>	X	
	<i>Stylogyne micans</i>	X	
	<i>Warszewiczia coccinea</i>	X	
	Vochysiaceae*	X	
	Indeterminado sp. 5	X	
<i>Xenochlora</i> sp. 1	<i>Bignonia aequinoctialis</i>	X	

* Tipo polínico por observação indireta

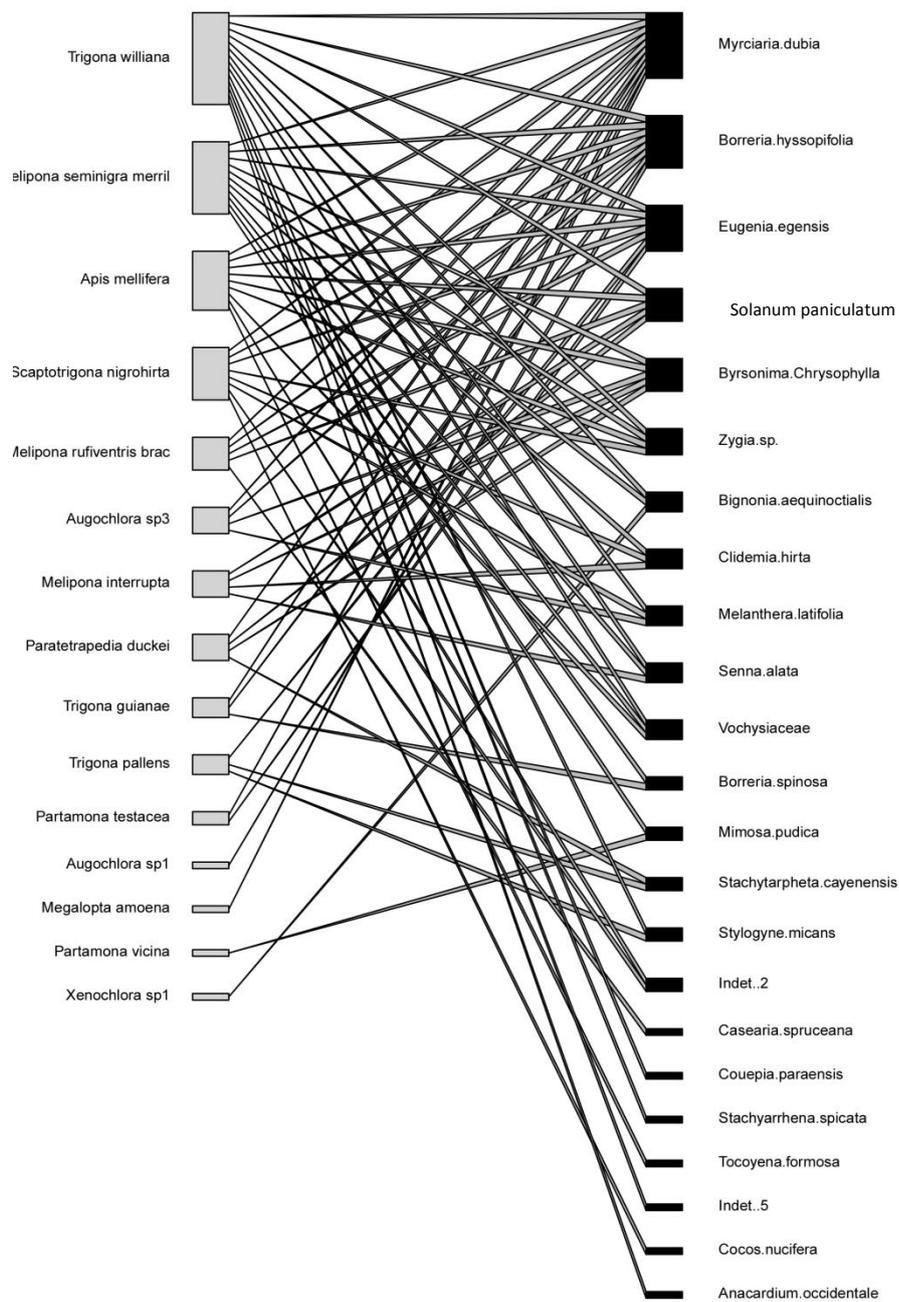


Figura 5: Rede de interações qualitativas de visitantes-pólenes do camu-camu e vegetação adjacente em ambiente nativo/igapó no auge da floração. A coluna da esquerda representa às espécies de abelhas e a coluna da direita os tipos polínicos presentes.

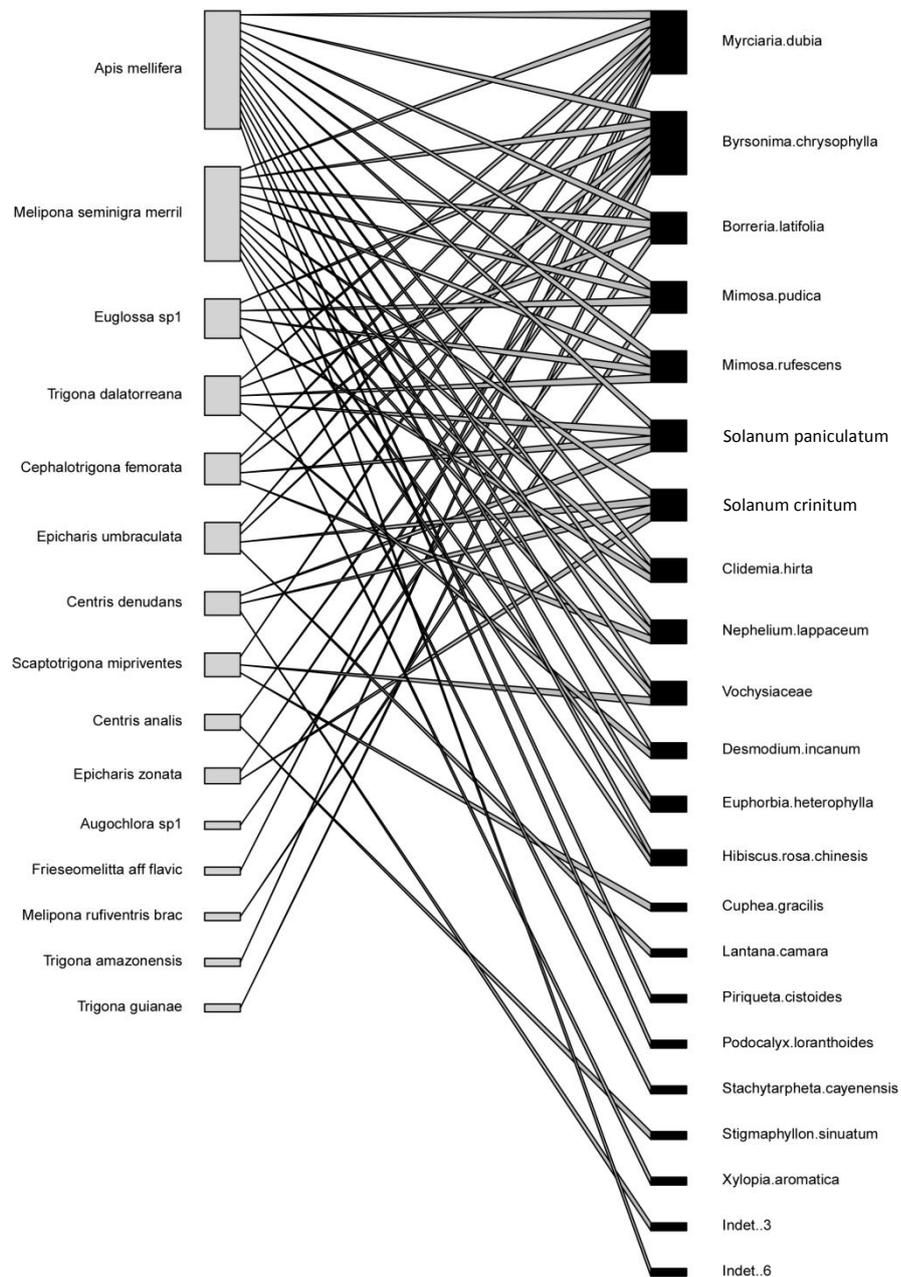


Figura 6: Rede de interações qualitativas visitantes-pólens do camu-camu e vegetação adjacente em cultivo/terra firme no auge da floração. A coluna da esquerda representa às espécies de abelhas e a coluna da direita os tipos polínicos presentes.

As abelhas que apresentaram pólen do camu-camu em ambiente nativo e que apresentaram grande quantidade de visitas foram *Scaptotrigona nigrohirta*, *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae* e *Apis mellifera*. Em terra firme foram *Apis mellifera*, *Frieseomellita longipes* e *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae* (Tabela 5). Essas espécies são, portanto, considerados os potenciais polinizadores de camu-camu. Apesar de não serem coletados indivíduos de *Augochlora* sp. 3, *Epicharis umbruculata* e *Frieseomellita* sp. 1 em camu-camu, foi observado pólen da planta nesses indivíduos.

Tabela 5 – Abundância de visitantes e presença de pólen em *Myrciaria dubia*.

Espécies de abelhas	Nº indivíduos nativo	Nº de indivíduos cultivo	Pólen
<i>Aparatrigona</i> sp. 1	1		
<i>Apis mellifera</i>	103	303	x
<i>Augochlora</i> sp. 1	3		
<i>Augochloropsis</i> sp. 1	8	3	
<i>Augochloropsis</i> sp. 2		1	
<i>Augochloropsis</i> sp. 3		1	
<i>Augochloropsis</i> sp.8	10	2	
<i>Augochloropsis</i> sp.9		14	
<i>Centris flavifrons</i>		1	
<i>Centris merrillae</i>	1		
<i>Cephalotrigona femorata</i>		24	x
<i>Euloema nigrita</i>		2	
<i>Exomalopsis analis</i>	1		
<i>Exomalopsis auropilosa</i>		10	
<i>Frieseomelitta</i> aff. <i>flavicornis</i>		4	
<i>Frieseomelitta flavicornis</i>	1	5	
<i>Frieseomelitta longipes</i>		238	x
<i>Megalopta</i> sp. 1	2		
<i>Megalopta amoena</i>	6		x
<i>Melipona fuliginosa</i>	1		
<i>Melipona interrupta</i>	13		
<i>Melipona rufiventris</i> <i>brachychaeta</i>	45	27	x
<i>Melipona seminigra</i> <i>merrillae</i>	127	158	x
<i>Oxaea festiva</i>	1		
<i>Paratetrapedia duckei</i>	2		x
<i>Paratetrapedia</i> sp. 2		2	
<i>Paratetrapedia</i> sp. 4		1	
<i>Paratetrapedia</i> sp. 7	1		
<i>Paratetrapedia testacea</i>	1		
<i>Partamona ferreirai</i>	4		
<i>Partamona testacea</i>	1		x

<i>Partamona vicina</i>	3	5	
<i>Pereirapsis</i> sp. 1	1		
<i>Ptilotrigona lurida</i>	7	60	
<i>Scaptotrigona nigrohirta</i>	409		x
<i>Scaptotrigona</i> sp. 1		89	x
<i>Schwarzula timida</i>	6	1	
<i>Trigona amazonensis</i>	2	127	x
<i>Trigona dalatorreana</i>	2	116	x
<i>Trigona guianae</i>	9	3	x
<i>Trigona williana</i>	6		x
<i>Trigonisca</i> sp. 1	1	1	
<i>Tropidopedia</i> sp. 1	1		
<i>Xenochlora</i> sp. 1	1		
<i>Xylocopa similis</i>	1	1	
<i>Xylocopa</i> sp. 1	3	1	

4. DISCUSSÃO

Ainda que existam diversas espécies de plantas polinizadas por insetos na Amazônia, são poucos os trabalhos envolvendo coleta ativa desses animais em conjunto com análises palinológicas na região. Conforme Peters e Vasquez (1986) e Maués e Couturier (2002), o camu-camu é altamente dependente das abelhas para a sua polinização, sendo esse o grupo mais amostrado no estudo. Entretanto, existem diferenças na comunidade de abelhas em população nativa e cultivo, assim como na comunidade de plantas do entorno das duas áreas.

No Brasil, há grande variação na riqueza de abelhas em diferentes localidades, com estimativas de 35 até 300 espécies, sendo considerados altos valores acima de 100 espécies (Pinheiro-Machado et al. 2002). Dessa forma, abrangendo as duas áreas, a riqueza é considerada alta (104), entretanto, analisando separadamente cada área, a riqueza é considerada baixa para população nativa (68) e para cultivo (70). Os levantamentos na região Amazônica são sobre grupos específicos como Meliponinae por Cortopassi-Laurino et al. (2007) e Euglossina por Storck-Tonon et al. (2009). Um trabalho mais recente de Almeida et al. (2019) em uma área de transição Cerrado-Amazônia amostrou 67 espécies de abelhas, valor mais aproximado dos encontrados nas duas áreas desse estudo.

A riqueza e abundância de abelhas foram maiores em cultivo, por outro lado, os índices de diversidade foram maiores em população nativa. Esses índices levam em consideração a quantidade de espécies e o quão elas são representativas na área (Melo, 2008).

Assim, apesar do maior número de espécies em terra firme, *Apis mellifera* foi a mais representativa e essa espécie exótica já aparece como dominante em outros levantamentos no Brasil feitos por Santos et al. (2004) em área de transição Cerrado-Amazônia, por Neves e Viana (2002) no Nordeste e por Krug e Alves-dos-Santos (2008) no Sul. Entretanto, vale ressaltar que os ninhos das abelhas africanas são bem maiores e têm em média de 60.000 a 80.000 abelhas, enquanto os ninhos das abelhas nativas sem ferrão (Meliponini) têm em média 5.000 abelhas (Pinho, 1998; Palumbo, 2015).

A família mais abundante nesse estudo foi Apidae que abrange a maioria das abelhas sociais. A subfamília Apinae, que inclui as abelhas sem ferrão, mamangabas e abelhas africanas são os visitantes florais abundantes em vários habitats tropicais (Bawa, 1990; Kato et al. 2008; Jarau e Barth, 2008). A sua dieta consiste em várias espécies de plantas, pois o tempo de vida de suas colônias é maior que o período de floração da maioria das espécies (Biesmeijer et al. 2005). Especificamente as abelhas nativas sem ferrão (Meliponini) podem se utilizar de “especializações temporárias”, ou seja, forragear em determinada fonte de alimento, pois é oferecido de maneira mais atraente (Rech e Absy, 2011).

As métricas das redes de interação, no geral, apresentaram valores maiores em terra firme ou semelhante entre as duas áreas. Porém, o padrão de estruturação da rede foi o mesmo em ambas, onde espécies de plantas com poucas interações tendem a estar ligadas a espécies de abelhas com muitas interações. Esse tipo de relação também acontece com as espécies de abelhas, sendo constatada pelo aninhamento das redes. A mesma configuração foi observada em ambiente de caatinga por Pigozzo e Viana (2010). Conforme os autores, esse padrão é uma vantagem, pois evita que uma espécie seja isolada, caso ocorra alguma perturbação no sistema.

A conectância mede o nível de generalização na interação entre as espécies da rede, nesse caso, as abelhas de terra firme são mais generalistas. Os valores encontrados nesse estudo estão dentro do intervalo abordado por Oleson et al. (2008), entre 2% e 29%, porém, um pouco menor que a média (11%). A maior parte das abelhas amostradas foram sociais, assim, essas abelhas são generalistas e seus nichos alimentares são mais amplos quando comparados ao das abelhas solitárias (Biesmeijer et al. 2005). As plantas do entorno mais visitadas foram aquelas que estiveram floridas na maioria dos dias de amostragem, compartilhando espécies de abelhas visitantes florais com o camu-camu.

O índice de especialização das redes H2' (tabela 5) mostra que existe maior especialização das abelhas em determinadas espécies de plantas em população nativa e entorno. A partir disso podem ser sugeridas diferenças estruturais na correspondência fenotípica dos parceiros, na morfologia, restrições espaço-temporais e escolhas comportamentais, além dos maiores valores mostrarem maior potencial de processos coevolutivos implícitos ao aninhamento (Blüthgen et al. 2008). Isso é refletido pelo fato das interações estarem ocorrendo há muito mais tempo em ambiente natural.

Com relação à similaridade, as plantas foram menos similares do que as abelhas entre as áreas. Vale mencionar que as espécies de plantas nativas de ambiente alagado mostram um conjunto de adaptações ecológicas, fisiológicas e morfológicas para suportar períodos prolongados de inundação (Ferreira et al. 2005).

O levantamento florístico feito por Haugaasen e Peres (2006) para Amazônia, apontam Fabaceae, Chrysobalanaceae, Lecythidaceae e Myrtaceae entre as dez famílias mais importantes em igapó, sendo coletadas espécies dessas famílias também em nosso estudo. O trabalho de Scudeller e Souza (2009) apontam cinco espécies na bacia do lago Tupé (AM) que também ocorrem na Praia do Japonês: *Tabebuia barbata*, *Couepia paraensis*, *Licania apetala*, *Eschweilera tenuifolia* e *Warszewiczia coccinea*. Os tipos polínicos indeterminados podem ser de espécies consideradas comuns e que estavam presentes nas áreas, mas não foram amostradas.

Já em levantamentos de florística em terra firme na região Amazônica, como o de Oliveira et al. (2008) e Pereira et al. (2010), as famílias Fabaceae e Euphorbiaceae aparecem entre aquelas de grande abundância na vegetação. Nesse estudo, espécies dessas famílias foram encontradas no entorno do cultivo de camu-camu.

Em camu-camu, comparações a cerca da produção de frutos em populações naturais no Peru (Peters e Vasquez, 1986) e áreas de cultivo (Maués e Couturier, 2002), mostram que a produção é maior em ambiente natural. Dessa forma, as abelhas nativas que são dominantes nessa área, seriam mais eficientes por estarem coevoluindo com essa frutífera há mais tempo. Nesse contexto, um estudo feito com açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) por Campbell et al. (2018), mostra que os cultivos dessa planta também tem menor riqueza de espécies polinizadoras nativas. Seria interessante saber como *Apis mellifera* pode estar influenciando direta ou indiretamente no forrageiro das espécies de polinizadores nativos (Silva e Pinheiro,

2007), para se introduzir técnicas de manejo da fauna nativa e exótica buscando otimizar a produção. Nesse contexto, as abelhas nativas sem ferrão podem oferecer algumas vantagens relacionadas ao manejo, já que são abelhas dóceis e necessitam de pouco investimento para a sua criação (Venturieri et al. 2003).

No contexto geral, foram abordadas as métricas quantitativas da rede de interações dos visitantes do camu-camu e vegetação adjacente. Os resultados mostram que as interações foram maiores no cultivo, apesar disso, é necessário avaliar a eficiência da polinização das espécies de abelhas nesse ambiente. A maioria dos índices abordados está dentro dos padrões para rede de interações mutualísticas, de aninhamento com grande assimetria.

Com relação às análises palinológicas, a população nativa de camu-camu está distribuída ao longo da margem da praia, sendo dominante na área, e sendo uma importante fonte de recurso para os polinizadores no período de floração. No cultivo, existe outra cultura em ambiente adjacente, de mandioca, porém, a biologia floral dessa espécie difere da estudada, com abertura das flores femininas às 12 h (Silva et al. 2001), não competindo por polinizadores. Assim, no auge da floração, o camu-camu foi o principal recurso para os visitantes florais no período matutino.

Em ambiente nativo, a abelha *Trigona williana* teve maior frequência de diferentes tipos polínicos. No geral, os visitantes se utilizam de características florais como cor, odor, tamanho e padrões para definir as recompensas, como o pólen (Novais et al. 2014), sendo atraídos por diferentes plantas. Entretanto, outras espécies desse gênero também tem comportamento de pilhadoras (Oda e Oda, 2007; Santos et al. 2008), o que contribui para alta diversidade de pólen no corpo dessas abelhas.

Em cultivo, a espécie *Apis mellifera* teve maior frequência de diferentes tipos polínicos. O estudo de Ramalho et al (1990) coloca as famílias Fabaceae, Myrtaceae e Rubiaceae entre os mais importantes recursos tróficos nas regiões neotropicais para essa abelha. Sendo assim, foi observado pólen de todas essas famílias em *Apis mellifera* no cultivo.

As observações indiretas de pólen em população nativa revelaram presença de *Byrsonima chrysophylla*, *Anacardium occidentale* e o tipo Vochysiaceae. Esses pólenes foram coletados por *Apis mellifera*, *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae* e *Trigona williana*.

Essas plantas estavam próximas à entrada da área de estudo, mas não foram amostradas em nossas coletas. O alcance de voo de *Apis mellifera* é entre 2 e 3 km, de *Melipona* é ente 1,2 e 1,5 km e *Trigona williana* por ser menor, tem alcance de voos menores (Wolff et al. 2008; Maués e Oliveira, 2010; Araújo, 2004). Entretanto, um estudo de Zurbuchen (2010) sugere que abelhas sociais e solitárias podem alcançar distâncias ainda maiores. Assim, apesar das coletas terem sido realizadas próximas aos arbustos de camu-camu, o alcance da área amostral foi muito maior.

As observações indiretas de pólen em terra firme mostram *Hibiscus rosas-chinesis* e *Nephelium lappaceum*. O hibisco estava presente na entrada da fazenda e havia uma árvore de *Nephelium lappaceum* na estrada de acesso ao cultivo de camu-camu. Esses pólenes foram coletados por *Apis mellifera*, *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae* e *Cephalotrigona femorata*. Essa última também tem distância de voo entre 1,2 a 1,5 km (Maués e Oliveira, 2010).

Uma observação interessante é que foi encontrado pólen de camu-camu em *Megalopta amoena*, abelha noturna. Essa espécie também já foi coletada por Krug et al. (2015) em outra planta amazônica, o guaraná. Entretanto, foram amostrados poucos espécimes e são necessárias mais análises para afirmar que estão atuando como polinizadores de camu-camu.

Os estudos palinológicos são importantes para saber acerca da biologia dos organismos, preferências florais e raios de ação das espécies de abelhas (Santos e Absy, 2010). Dessa forma, também são reveladas interações não observadas diretamente no ambiente, podendo ajudar a caracterizar de fato, os polinizadores de determinada planta.

Assim, apesar de serem coletadas diversas espécies de abelhas em camu-camu, quando associados os dados de visitas com as análises palinológicas, as abelhas que atuaram como principais polinizadores no auge da floração do camu-camu foram aquelas sem ferrão (representantes de *Melipona*, *Scaptotrigona* e *Friseomellita*) e a espécie exótica *Apis mellifera*.

5. CONCLUSÃO

A partir dos resultados, pode ser concluído que:

- Mais de uma espécie de abelha são potenciais polinizadoras de camu-camu, sendo as principais: *Scaptotrigona nigrohirta*, *Melipona (Michmelia) seminigra merrillae*, *Friseomellita longipes* e *Apis mellifera*.
- Existe diferença na comunidade de espécies de abelhas em igapó e terra firme, com as abelhas nativas dominantes no ambiente natural (igapó) e a *Apis mellifera* dominante no cultivo (terra firme).
- O camu-camu no auge da floração é uma fonte de recursos florais para diversas espécies de abelhas nas duas áreas.
- As abelhas sociais são as principais abelhas coletadas no estudo, carregando pólen de diversos tipos de planta. As abelhas solitárias em sua maioria também visitaram mais de uma espécie de planta.

6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos pelo suporte do Instituto de Pesquisa da Amazônia e apoio do Programa de Pós-Graduação em Botânica do instituto (PPG-Bot). Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001. O apoio financeiro para este estudo também foi recebido do projeto “Rede de Interações de Abelhas com Frutíferas do Norte e Nordeste” (PoliNet)”(Código SEG 02.16.04.024.00.00) financiado pela EMBRAPA.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, R. P. S.; Arruda, F. V.; Silva, D. P.; Coelho, B. W. T. 2019. Bees (Hymenoptera, Apoidea) in an Ecotonal Cerrado-Amazon Region in Brazil. *Sociobiology*, 66(3): 457-466.
- Araujo, E. D.; Costa, M.; Chaud-Netto, J.; Fowler, H. G. 2004. Body size and flight distance in stingless bees (Hymenoptera: Meliponini): inference of flight range and possible ecological implications. *Brazilian Journal of Biology*, 64: 563–568.

- Ballantyne, G.; Baldock, K. C. R.; Willmer, P. G. 2015. Constructing more informative plant–pollinator networks: visitation and pollen deposition networks in a heathland plant community. *The Royal Society Publishing*, 282:20151130.
- Bawa, K. S. 1990. Plant-pollinator interactions in tropical rain forests. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 21: 399-422.
- Biesmeijer, J. C.; Slaa, E. J.; Castro, M. S.; Castro, M. S.; Viana, B. F.; Kleinert, A. M. P; Imperatriz-Fonseca, V. L. 2005. Connectance of Brazilian social bee — food plant networks is influenced by habitat, but not by latitude, altitude or network size. *Biota Neotropica*, 5(1): 85-93.
- Blüthgen, N.; Fründ, J.; Vázquez, D.P.; Menzel, F. 2008. What do interaction network metrics tell us about specialization and biological traits? *Ecology*, 89: 3387-99.
- Brower, J. E.; Zarr, J. H. *Field & Laboratory Methods for General Ecology*. Iowa: Wm. C. Brown Company (2 nd ed.), 1984. 226p.
- Butts C. 2015. `_network: Classes for Relational Data_`. The Statnet Project (URL:<http://statnet.org>). R package version 1.13.0, (URL: <http://CRAN.R-project.org/package=network>).
- Caliri, G. J. A. 2002. Estudos fenológicos e seleção de matrizes em quatro procedências de camu-camu silvestre (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh) da região amazônica, para uso em sistemas agroflorestais. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 71p.
- Campbell, A. J.; Carvalheiro L. G.; Maués M. M; Jaffé, R.; Giannini, T. C.; Freitas, M. A. B; Coelho, B. W. T.; Menezes, C. 2018. Anthropogenic disturbance of tropical forests threatens pollination services to açai palm in the Amazon river delta. *Journal of Applied Ecology*, 55(4): 1725-1736.
- Carvalheiro, L. G.; Seymour, C. L.; Nicolson, S. W.; Veldtman, R. 2012. Creating patches of native flowers facilitates crop pollination in large agricultural fields: mango as a case study. *Journal of Applied Ecology*. 49: 1373-1383.

- Cortopassi-Laurino, M.; Araújo, D. A.; Imperatriz-Fonseca, V. L. 2009. Árvores neotropicais, recursos importantes para a nidificação de abelhas sem ferrão (Apidae, Meliponini). Disponível: <<http://www.apacame.org.br/mensagemdoce/100/artigo4.htm>>. Acesso em: 20/03/2020.
- Carvalho, J. E. U.; Müller, C. H. 2005. Biometria e rendimento percentual de polpa de frutas nativas da Amazônia. Comunicado Técnico 139. Embrapa Amazônia Oriental, Belém 3p.
- Cortopassi-Laurino, M.; Velthuis, H. H. W.; Nogueira-Neto, P. 2007. Diversity of stingless bees from the Amazon forest in Xapuri (Acre), Brazil. Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting, 18: 105-114.
- Cronquist, A. 1988. The Evolution and Classification of Flowering Plants. New York Botanical Garden, Bronx.
- Csardi, G.; Nepusz, T. 2006. The igraph software package for complex network research, InterJournal, Complex Systems 1695. Disponível em <<http://igraph.org>>. Acesso em janeiro de 2020.
- D'Ávila, M.; Marchini, L. C. 2005. Polinização realizada por abelhas em culturas de importância econômica no Brasil. Boletim de Indústria Animal, 62(1): 79-90.
- Dormann, C. F.; Gruber, B.; Fründ, J. 2008. Introducing the bipartite Package: Analysing Ecological Networks. R News, 8(2): 8-11.
- Erdtman, G. 1960. The Acetolysis Method—A Revised Description. Svensk BotaniskTidskrift, 54(4): 561-564.
- Falcão, M. A. 1993. Aspectos fenológicos, ecológicos e de produtividade de algumas fruteiras cultivadas na Amazônia. 2ª ed. Manaus: UFAM, v.2, 97p.
- Ferreira, L. V.; Almeida S. S.; Amaral, D. D.; Parolin, P. 2005. Riqueza e composição de espécies da floresta de igapó e várzea da Estação Científica Ferreira Penna: subsídios para o plano de manejo da floresta nacional de caxiuanã. Pesquisas, Botânica, 56:103-116.

- Gressler, E.; Pizo, M. A.; Morellato, L. P. C. 2006. Polinização e dispersão de sementes em Myrtaceae do Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 29(4): 509-530.
- Hammer et al., 2001 -Hammer, Ø., Harper, D. A. T.; Ryan, P. D. 2001. PAST-Palaeontological statistics. Disponível em <www.uv.es/pardomv/pe/2001_1/past/pastprog/past.pdf>. Acesso em janeiro de 2020.
- Haugsaasen, T.; Peres, C. A. 2006. Floristic, edaphic and structural characteristics of flooded and unflooded forests in the lower Rio Purús region of central Amazonia, Brazil. *Acta Amazonica*, 36(1): 25-36.
- James, R. R.; Pitts-Singer, T. L. 2008. *Bee Pollination in Agricultural Ecosystems*. New York: Oxford University Press, 232p.
- Jarau, S.; Barth, F. G. 2008. Stingless bees of the Golfo Dulce region, Costa Rica (Hymenoptera, Apidae, Apinae, Meliponini). *Biologiezentrum Linz*, 267-276.
- Keel, S. H. K.; Prance, G. T. 1979. Studies of the vegetation of a white-sand black-water igapó (Rio Negro, Brazil). *Acta Amazonica*, 9(4): 645-665.
- Kato, M.; Kosaka, Y.; Kawakita, A.; Okuyama, Y.; Kobayashi, C.; Phimminith, T.; Thongphan, D. 2008. Plant-pollinator interactions in tropical monsoon forests in Southeast Asia. *American Journal of Botany*, 95(11): 1375-1394.
- Kevan, P. G.; Viana, B. F. 2003. The global decline of pollination services. *Biodiversity*, 4(4): 3-8.
- Klein, A. M.; Vaissiere, B. E.; Cane, J. H.; Steffandewenter, I.; Cunningham, S. A.; Kremer, C.; Tscharntke, T. 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings of the Royal Society B-Biological Sciences*, 274(1608): 303-313.
- Krug, C.; Garcia, M. B. V; Gomes, F. B. 2015. A scientific note on new insights in the pollination of guarana (*Paullinia cupana* var. *sorbilis*). *Apidologie*, 46:164-166.
- 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*, 37(3) 265-278.

- Lewinsohn, T. M.; Loyola, R. D.; Prado, P. I. 2006. Matrizes, redes e ordenações: a detecção de estrutura em comunidades interativas. *Oecologia brasiliensis*, 10 (1): 90-104.
- Machado, C. A.; Robbins, N.; Gillbert, M. T. P.; Herre, E. A. 2005. Critical review of host specificity and its coevolutionary implications in the fig/fig-wasp mutualism. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102: 6558-6565.
- Magurran, A. E. 1988. *Ecological diversity and its measurement*. New Jersey: Princeton University Press, 179p.
- Maués, M. M.; Couturier, G. 2002. Biologia floral e fenologia reprodutiva do camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) McVaugh, Myrtaceae) no Estado Pará, Brasil. *Revista Brasileira de Botânica*, 25(4): 441-448.
- Maués, M. M.; Oliveira, P. E. A. M. 2010. Consequências da fragmentação do habitat na ecologia reprodutiva de espécies arbóreas em florestas tropicais, com ênfase na Amazônia. *Oecologia Australis*, 14(1): 238-250.
- Melo, A. S. 2008. O que ganhamos ‘confundindo’ riqueza de espécies e equabilidade em um índice de diversidade? *Biota Neotropica*, 8(3): 21-27.
- Michener, C. D. 2007. *The Bees of the World*. Baltimor, Johns Hopkins, 992p.
- Milet-Pinheiro, P.; Schlindwein, C. 2008. Community of bees (Hymenoptera, Apoidea) and plants in an area of Agreste in Pernambuco, Brazil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 52(4): 625-636.
- Nava, G. A.; Marodin, G. A. B.; Santos, R. P. 2009. Reprodução do pessegueiro: efeito genético, ambiental e de manejo das plantas. *Revista Brasileira de Fruticultura*, 31(4): 1218-1223.
- Neves, E. L. D.; Viana, B. F. 2002. As abelhas eussociais (Hymenoptera, Apidae) visitantes florais em um ecossistema de dunas continentais no médio Rio São Francisco, Bahia, Brasil. *Revista Brasileira de Entomologia*, 46(4): 571-578.

- Novais, J. S., Absy, M. L. & Santos, F. A. R. (2014). Pollen types collected by *Tetragonisca angustula* (Hymenoptera: Apidae) in dry vegetation in Northeastern Brazil. *European Journal of Entomology*, 111: 25-34.
- Oda, F. H.; Oda, T. M. 2007. Comportamento pilhador de *Trigona spinipes* fab. (Hymenoptera: Apidae) em flores de *Schlumbergera truncata* (Haworth) Moran (Cactaceae). *Insula Revista de Botânica – Portal de Periódicos UFSC*, 36: 95-97.
- Olesen, J. M., Bascompte, J., Elberling, H.; Jordano, P. 2008. Temporal dynamics in a pollination network. *Ecology*, 89: 1573–1582.
- Oliveira, A. N.; Amaral, I. L.; Ramos, M. B. P.; Nobre, A. D.; Couto, L. B.; Sahdo, R. M. 2008. Composição e diversidade florístico-estrutural de um hectare de floresta densa de terra firme na Amazônia Central, Amazonas, Brasil. *Acta Amazonica*, 38(4): 627-642.
- Ollerton, J.; Winfree R., Tarrant, S. 2011. How many Flowering plants are pollinated by animals. *Oikos*, 120: 321-326.
- Palumbo, H. N. 2015. *Nossas Brasileirinhas: As abelhas nativas*. Curitiba: Editora Abril Cultural, 74 p.
- Pereira, L. A.; Sobrinho, F. A. P.; Neto, S. V. C. 2010. Florística e estrutura de uma mata de terra firme na Reserva de Desenvolvimento Sustentável Rio Iratapuru, Amapá, Amazônia Oriental, Brasil. *Floresta*, 41(1): 113-122.
- Peters, C. M.; Vasquez, A. 1987. Estudios ecológicos de camu-camu (*Myrciaria dubia*). I. Producción de frutos en poblaciones naturales. *Acta Amazonica*, 16/17: 161-174.
- Pianka, E. R. 1994. *Evolutionary Ecology*. 5 ed. New York: Harper Collins.
- Pigozzo, C. M.; Viana, B. F. 2010. Estrutura da rede de interações entre flores e abelhas em ambiente de caatinga. *Oecologia Australis*, 14(1): 100-114.
- Pinheiro-Machado, C.; Alves-dos-Santos, I.; Imperatriz-Fonseca, V. L.; Kleinert, A. D. M. P.; Silveira, F. A. 2002. Brazilian bee surveys: state of knowledge, conservation and sustainable use. *Pollinating Bees, The Conservation Link Between Agriculture and Nature*, Ministério do Meio Ambiente, Brasília, 115-129.

- Pinho, F. R. 1998. Apicultura. In: Criação de Abelhas. 2 ed. Cuiabá: SEBRAE, 52p.
- Ramalho, M.; Kleinert-Giovannini, A.; Imperatriz-Fonseca, V. L. 1990. Important bee plants for stingless bees (*Melipona* and Trigonini) and africanized honeybees (*Apis mellifera*) in neotropical habitats: a review. *Apidologie*, 21:469-488.
- Real, R.; Vargas, J. M. 1996. The Probabilistic Basis of Jaccard's Index of Similarity. *Systematic Biology*, Oxford, p.380-385.
- Rech, A. R.; Absy, M. L. 2010. Pollen sources used by species of Meliponini (Hymenoptera: Apidae) along the Rio Negro channel in Amazonas, Brazil. *Journal Grana*, 50: 150-161.
- Rocha-Filho, L. C.; Krug, C.; Silva, C. I.; Garófalo, C. A. 2002. Floral Resources Used by Euglossini Bees (Hymenoptera: Apidae) in Coastal Ecosystems of the Atlantic Forest. *Psyche*, 1-13.
- Santos, C. F.; Absy, M. L. 2010. Polinizadores de *Bertholletia excelsa* (Lecythidales: Lecythidaceae): interações com abelhas sem ferrão (Apidae: Meliponini) e nicho trófico. *Neotropical Entomology*, 39(6): 854-861.
- Santos, F. M.; Carvalho, C. A. L.; Silva, R.F. 2004. Diversidade de abelhas (Hymenoptera: Apoidea) em uma área de transição Cerrado-Amazônia. *Acta Amazonica*, 34(2): 319-328.
- Santos, O. A.; Webber, A. C.; Costa, F.R.C. 2008. Biologia reprodutiva de *Psychotria spectabilis* Steyrm. e *Palicourea* cf. *virens* (Poepp & Endl.) Standl. (Rubiaceae) em uma floresta tropical úmida na região de Manaus, AM, Brasil. *Acta Botânica Brasileira*, 22(1): 275-285.
- Scudeller, V. V.; Souza, A. M. G. 2009. Florística da Mata de Igapó na Amazônia Central. In: *Diversidade Biológica e Sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central*. Manaus: UEA Edições, 97-108.
- Silva, A. L. G.; Pinheiro, M. C. 2007. Biologia floral e da polinização de quatro espécies de *Eugenia* L. (Myrtaceae). *Acta Botanica Brasileira*, 21(1): 235-247.

- Silva, C. I.; Ballesteros, P. L. O. ; Palmero, M. A.; Bauermann; Evaldit, S. G.; Oliveira, P. E. A. M. 2010. Catálogo polínico: palinologia aplicada em estudos de conservação de abelhas do gênero *Xylocopa*. Uberlândia: EDUFU, v1, 154p.
- Silva, R. M.; Bandel, G.; Faraldo, M. I. F.; Martins, P. S. 2001. Biologia reprodutiva de etnovariedades de mandioca. *Scientia Agricola*, 58(1): 101-107.
- Storck-Tonon, D.; Morato, E. F.; Oliveira, M. L. 2009. Fauna de euglossina (Hymenoptera: Apidae) da Amazônia sul-ocidental, Acre, Brasil. *Acta Amazonica*, 39(3): 693-706.
- Suguino, E. 2002. Propagação vegetativa do camu-camu (*Myrciaria dubia* (HBK) McVaugh) por meio da garfagem em diferentes porta-enxertos da família Myrtaceae. Dissertação de Mestrado, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, São Paulo, 62p.
- Venturieri, G. C.; Raiol, V. F. O.; Pereira, C. A. B. 2003. Avaliação da introdução da criação racional de *Melipona fasciculata* (Apidae: Meliponina), entre os agricultores familiares de Bragança - PA, Brasil. *Bioneotropica*, 3(2): 1-7.
- Vidigal, M. C. T. R, V. P. R. Minim, N. B. Carvalho, M. P. Milagres and A. C. A. Gonçalves 2011. Effect of a health claim on consumer acceptance of exotic Brazilian fruit juices: Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.), Camu-camu (*Myrciaria dubia*), Cajá (*Spondias lutea* L.) and Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda). *Food Research International*, 44(7):1988-1996.
- Villachica, H. 1996. El cultivo del Camu-camu (*Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh) em la Amazônia Peruana. Lima, Peru: Tratado de Cooperacion Amazônica.
- Yamamoto, M.; Barbosa, A. A. A.; Oliveira, P. E. A. M. 2010. A polinização em cultivos agrícolas e a conservação das áreas naturais: O caso do maracujá-amarelo (*Passiflora edulis* F. flavicarpa Deneger). *Oecologia Australis*, 14(1): 174-192.
- Yuyama, K., J. P. L. Aguiar and L. K. O. Yuyama. 2002. Camu-camu: Um fruto fantástico como fonte de vitamina C. *Acta Amazonica*, 32(1): 169-174.
- Wolff, L. F.; Reis, V. D. A.; Santos, R.S.S. 2008. Abelhas melíferas: bioindicadores e qualidade ambiental e de sustentabilidade da agricultura familiar de base ecológica. Pelotas: Embrapa Clima Temperado, Documentos 244, 38p.

Zurbuchen, A.; Landert, L.; Klaiber, J.; Müller, A.; Hein, S.; Dorn, S. 2010. Maximum foraging ranges in solitary bees: only few individuals have the capability to cover long foraging distances. *Biological Conservation*, 143(3): 669–676.

CONCLUSÃO GERAL

O comparativo entre população nativa e cultivo de camu-camu mostra que diferenças no ambiente influenciam nas fases reprodutivas dessa planta. A floração e frutificação são parcialmente explicadas por fatores como pluviosidade, temperatura e umidade relativa do ar. Apesar da menor produção de frutos em terra firme, o manejo sustentável da fauna e flora podem ser promissores para otimizar a produção.

A comunidade de polinizadores também difere entre as duas áreas, assim como as plantas presentes no entorno. Espécies nativas de abelhas foram mais abundantes em ambiente natural enquanto a espécie exótica *Apis mellifera* foi mais abundante na área do cultivo. Nesse contexto, as abelhas nativas sem ferrão podem oferecer algumas vantagens relacionadas ao manejo, já que são abelhas dóceis e necessitam de pouco investimento para a sua criação.

Em ambiente natural, as espécies de plantas com maior número de visitas e interações foram *Myrciaria dubia*, a espécie de interesse neste trabalho e, portanto, foco das coletas, seguida de *Borreria hyssopifolia* e *Stachyarrhenna spicata*. Já em cultivo, *Myrciaria dubia* aparece com o maior número de visitas e interações, seguido de *Mimosa pudica* e *Stryphnodendron microstachyum*.

O camu-camu tem floração curta em população nativa e ocorre em mais de um pico no cultivo, de qualquer forma, é uma das principais fontes de recursos utilizados pelas abelhas quando está florido. As plantas do entorno citadas anteriormente também são fontes de recursos para as abelhas, mostrando que a comunidade de plantas como um todo é importante na manutenção da comunidade de abelhas.

Portanto, as informações obtidas nesse trabalho podem ser utilizadas para subsidiar o manejo dos polinizadores em cultivo, buscando a preservação da fauna de abelhas associadas ao camu-camu e plantas adjacentes. O manejo deve contribuir com a melhoria da polinização e conseqüentemente com o aumento na produção de frutos, estimulando a produção local.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Almeida, L. F. P. 2014. Avaliação do desenvolvimento inicial de acessos de camu-camu (*Myrciaria dubia* (Kunth) McVaugh) em diferentes condições edafoclimáticas no estado de Roraima. Tese de Doutorado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus, Amazonas, 80 p.
- Alves, R. E.; Filgueiras, H. A. C.; Moura, C. F. H., Araújo, N. C. C.; Almeida, A. S. 2002. Proceedings of the Interamerican Society for Tropical Horticulture, 46: 11-13
- Andrade, J. S.; Galezi, M. A. M; Aragão, C. G.; Chávez-Flores, W. B. 1991. Valor Nutricional do camu-camu *Myrciaria dubia* (H.B.K) McVaugh, cultivado em terra firme na Amazônia Central Brasileira. Revista Brasileira de Fruticultura, 13(3): 307-311.
- Del-Claro, K.; Torezan-Silingardi, H. M. 2012. Ecologia das Interações Plantas-Animais: uma abordagem ecológico-evolutiva. Rio de Janeiro: Technical Books, 336p.
- Giorgini, J. F.; Gusman, A. B. A. 1972. Importância das abelhas na polinização. In: Camargo, J.M.F. Manual de Apicultura. São Paulo: Ceres, p.33-57.
- INPA. Lista das Espécies Florestais e Arbustivas de Interesse Econômico na Amazônia Ocidental pelo uso madeireiro. Disponível em <https://www.inpa.gov.br/sementes/arquivos/tabela_Nome_Cientifico_Usos.pdf>. Acesso em: 15 de outubro de 2018.
- Nava, G. A.; Marodin, G. A. B.; Santos, R. P. 2009. Reprodução do pessegueiro: efeito genético, ambiental e de manejo das plantas. Revista Brasileira de Fruticultura, 31(4): 1218-1223.
- Ollerton, J.; Winfree R., Tarrant, S. 2011. How many Flowering plants are pollinated by animals. Oikos, 120: 321-326.
- Rocha-Filho, L. C.; Krug, C.; Silva, C. I.; Garófalo, C. A. 2002. Floral Resources Used by Euglossini Bees (Hymenoptera: Apidae) in Coastal Ecosystems of the Atlantic Forest. Psyche, 1-13.

Talora, D. C.; Morellato, P. C. 2000. Fenologia de espécies arbóreas em florestas de planície litorânea do sudeste do Brasil, *Revista Brasileira de Botânica*, 23(1): 13-26.

AULA DE QUALIFICAÇÃO

PARECER

Aluna: **GRACE ANNE COELHO FERREIRA**

Curso: **BOTÂNICA**

Nível: **Mestrado**

Orientador: **Dr. Adrian Paul A. Barnett (INPA)** e Coorientadora: **Cristiane Krug (EMBRAPA)**

Título:

"Camu-camu (Myrciaria dubia (Kunth) McVaugh) e seus polinizadores: produtividade, diversidade e interações em terra firme (cultivo) e igapó (nativo)"

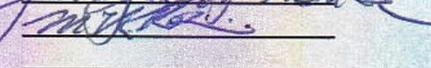
BANCA JULGADORA

TITULARES:

FABRICIO BEGGIATO BACCARO (UFAM)
JADSON JOSÉ SOUZA DE OLIVEIRA (INPA)
MICHAEL JOHN GILBERT HOPKINS (INPA)

SUPLENTES:

CHARLES EUGENE ZARTMAN (INPA)
WILSON ROBERTO SPIRONELLO (INPA)

EXAMINADORES	PARECER	ASSINATURA
FABRICIO BEGGIATO BACCARO	(<input checked="" type="checkbox"/>) Aprovado () Reprovado	
JADSON JOSÉ SOUZA DE OLIVEIRA	(<input checked="" type="checkbox"/>) Aprovado () Reprovado	
MICHAEL JOHN GILBERT HOPKINS	(<input checked="" type="checkbox"/>) Aprovado () Reprovado	
CHARLES EUGENE ZARTMAN	() Aprovado () Reprovado	_____
WILSON ROBERTO SPIRONELLO	() Aprovado () Reprovado	_____

Manaus (AM), 25 de Janeiro de 2019.

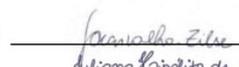
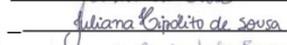
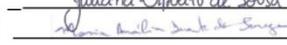
OBS: _____


Dr. Michael John Gilbert Hopkins
Coordenador do Programa de
Pós-Graduação em Botânica
PO. 116/2017 - DIBOT/INPA



**ATA DEFESA PÚBLICA DE DISSERTAÇÃO
DE MESTRADO DISCENTE DO PROGRAMA
DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
BIOLÓGICAS (BOTÂNICA) DO INSTITUTO
NACIONAL DE PESQUISAS DA AMAZÔNIA.**

Aos vinte e quatro dias do mês de março de 2020 às 09:00 horas, através do software Skype, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública, composta pelos seguintes membros: Dra. Maria Anália Duarte de Souza, da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), Dra. Juliana Hipólito de Sousa, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Dra. Gislene Almeida Carvalho Zilse, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), tendo como suplentes: Dra. Márcia Lúcia Absy, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) e Dr. Charles Eugene Zartman, do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da **DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**, intitulada: **“CAMU-CAMU (*Myrciaria dubia* (KUNTH) MCVAUGH) E SEUS POLINIZADORES: PRODUTIVIDADE, DIVERSIDADE E INTERAÇÕES NA AMAZÔNIA CENTRAL – BRASIL”** discente: **Grace Anne Coelho Ferreira**, sob orientação: Dra. Cristiane Krug e Coorientação: Dr. Adrian Paul Ashton Barnett. Após a exposição, dentro do tempo regulamentar, a discente foi arguida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final:

EXAMINADORES	PARECER	ASSINATURA
GISLENE A. CARVALHO ZILSE	(x) APROVADO () REPROVADO	
JULIANA HIPÓLITO DE SOUSA	(x) APROVADO () REPROVADO	
MARIA ANÁLIA DUARTE DE SOUZA	(x) APROVADO () REPROVADO	
CHARLES EUGENE ZARTMAN	() APROVADO () REPROVADO	_____
MARIA LÚCIA ABSY	() APROVADO () REPROVADO	_____

Manaus (AM), 24 de março de 2020.

OBS: Recomendamos que a aluna aprofunde a discussão e considere os diversos comentários da banca. Sugerimos também a modificação do capítulo 1 mesmo que o parecer da revista seja favorável a publicação.

Nada mais havendo, foi lavrado a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.

