

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE PSICOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM PSICOLOGIA EXPERIMENTAL

Pilar Roncero Domingo

**Antropização do ecótono Cerrado/Caatinga: efeitos sobre o comportamento
de macacos-prego (*Sapajus libidinosus*)**

São Paulo

2022

PILAR RONCERO DOMINGO

Antropização do ecótono Cerrado/Caatinga: efeitos sobre o comportamento de macacos-prego (*Sapajus libidinosus*)

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de mestre em Psicologia Experimental.

Orientadora: Profa. Dra. Patrícia Izar

São Paulo

2022

Nome: Pilar Roncero Domingo

Título: Antropização do ecótono Cerrado/Caatinga: efeitos sobre o comportamento de macacos-prego (*Sapajus libidinosus*)

Dissertação apresentada ao Instituto de Psicologia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Aprovado em: ____/____/____

Banca examinadora

Prof.(a)Dr(a) _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof.(a)Dr(a) _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

Prof.(a)Dr(a) _____

Instituição: _____

Julgamento: _____

Assinatura: _____

“Nosso mundo consiste em uma enorme variedade de vida. Podemos pensar nela como uma grande família de vários membros. Não é uma reunião aleatória; cada membro tem um papel na constituição, manutenção e desenvolvimento dessa família”

Kinji Imanishi

“A uniformidade é a morte, a diversidade é a vida”

Mikhail Bakunin

AGRADECIMENTOS

À minha orientadora Profa. Dra. Patrícia Izar, por ter me acolhido desde o primeiro momento, me permitindo fazer o TCC sobre esses animais maravilhosos e me animando para voltar e fazer mestrado. Obrigada pelo apoio, especialmente quando a pandemia chegou e tudo ficou mais difícil. Conseguimos ajustar o projeto à nova situação e em todo momento me orientou de forma muito construtiva e profissional, sempre me incentivando a melhorar. Só gratidão e admiração por essa grande pesquisadora que inspira a muitas de nós. Obrigada também pelo seu compromisso político, por ajudar a que a Universidade e as salas de aula sejam espaços seguros, diversos e cada vez mais horizontais.

Aos assistentes de campo, Marcio Fonseca de Oliveira, Marcos Fonseca de Oliveira e Arizomar da Silva Oliveira. Sem eles esse trabalho não existiria. Muito obrigada por todas as horas de observação no calor, no frio, na chuva... e também por compartilhar conosco todos seus conhecimentos sobre a Boa Vista e os macacos. São eles que estão vivendo e acompanhando todos os processos descritos nesse estudo, obrigada por fazer pesquisa com a gente.

A Olívia de Mendonça-Furtado e Michele Verderane, por disponibilizar gentilmente seus dados de doutorado, sem eles não poderia ter feito esse trabalho. Obrigada também pela ajuda com as dúvidas e as planilhas.

Ao professor Nicolás Châline, por ter me ajudado a participar do processo seletivo mesmo morando fora do Brasil, e pelo apoio quando a pandemia chegou. Obrigada pelo seu esforço e dedicação também na sala de aula, conseguindo que a aprendizagem continuasse naquele mundo online.

À Profa. Dra. Briseida Resende, por me trazer um novo olhar sobre o desenvolvimento e a evolução, e à Profa. Dra. Ronara Ferreira Châline pela aprendizagem que recebi durante a monitoria de Etologia e por contribuir a que o ensino seja cada vez mais participativo.

Aos meus colegas e amigos do laboratório, especialmente a Júlia e Guilbert. Muito obrigada pela ajuda com as dúvidas, e pelas dicas e sugestões. A Priscila e Valentina pela ajuda no tratamento dos dados. A todas as pessoas que formam o LEDIS, à Nat, Mábia, Vivi, Bea, Luiza Relvas, Luiza Ferreira, Nayara, Marie, Emily, Flávio, Vítor e muitas mais. Nossas reuniões foram fundamentais, especialmente nos piores momentos da pandemia. Obrigada pelo acolhimento.

As pessoas que fazem parte do Instituto de Psicologia, especialmente a Fátima e Gustavo, pela disposição e pela ajuda em todos os processos administrativos.

Às agências de fomento, a CAPES, pela bolsa e à FAPESP e CNPQ pelo auxílio temático.

A meus pais, Juan Antonio e M^a Ángeles, pelo grande apoio, desde sempre. Por me animarem a estudar o que eu gosto e estar sempre aí, mesmo longe. Por me ensinarem que amar os animais é amar eles livres. A minha irmã Sofia, por ser meu porto seguro e me encorajar a fazer coisas novas. Sua coragem e criatividade são muito inspiradoras para mim. Obrigada por estar sempre aí. A meus sobrinhos Marcello e Emma, pelo seu apoio e alegria. A Tommaso, por me ajudar a questionar tudo e sempre ter pensamento crítico.

A meu companheiro, Ítalo, por não duvidar em momento nenhum que o projeto ia dar certo e pelo apoio incondicional. Por ficar do meu lado nos momentos bons e nos ruins. Obrigada por compartilhar tua vida comigo nesses últimos dois anos, e pelos planos malucos que a gente tem. Pelas conversas sobre cinema, fotografia, macacos e futuras viagens.

Ao meu grande amigo Luis pela ajuda com a estatística. Obrigada pela paciência e por me resolver mil dúvidas, explicando, como grande cientista e professor que é, de um jeito que conseguisse entender. Obrigada também pelas risadas, presenciais e virtuais.

Aos meus amigos Dede, Sara, Blanca, Laura, Mari, Nerea, Andrea, Sandra, Nuria, Greta, Clara e Meriyo. Obrigada por estar sempre aí, no bairro e fora dele, muitos deles desde crianças, me apoiando em todos os projetos. Obrigada pelas bem-vindas, as despedidas, as vídeo-chamadas e os áudios intermináveis. Sou muito afortunada por ter vocês.

A minha tia Marga, Manoli, minha tia Menchu e meu primo Jose Carlos, pelo apoio e pelo carinho. A Tânia, minha sogra, e a Dany, minha cunhada (hermana, na verdade), pelo acolhimento e o suporte.

Aos macacos da FBV, por nos deixar aprender com eles.

A Sci-Hub e sua criadora, Alexandra Elbakyan, porque sem essa plataforma não teria podido acessar nem à metade de artigos que aqui foram citados. Porque o conhecimento (científico ou não) deve ser acessível para todas.

RESUMO

A maioria das populações de primatas está sendo afetada pela pressão antrópica, especialmente pela mudança no uso do solo para agriculturas intensivas nas zonas tropicais. O Cerrado está ficando cada vez mais quente e seco, o que tem sido associado ao desmatamento, queimadas, construção de infraestruturas e avanço do agronegócio. Nesse cenário, é importante pesquisar como as diferentes espécies estão respondendo a esse processo. Variações na dieta e no orçamento de atividades, assim como perdas no repertório comportamental, já foram descritas em populações que vivem em ambientes perturbados. Além disso, alguns autores sugerem que as tradições culturais de várias populações, incluindo a dos macaco-prego (*S. libidinosus*) da presente pesquisa, poderiam estar ameaçadas pela pressão antrópica. A tradição de quebra de cocos usando ferramentas tem sido amplamente estudada desde 2005 na população da Fazenda Boa Vista (FBV), que se encontra no município de Gilbués (PI), considerado um núcleo de desertificação do Brasil. Apesar de ser uma propriedade relativamente bem preservada, o avanço das monoculturas intensivas nas proximidades, a chegada da eletricidade, pavimentação da rodovia mais próxima e construção de habitações podem ter afetado as variáveis ambientais da região. Por isso, neste trabalho investigamos possíveis mudanças no clima e na oferta de alimento, incluindo cocos, na FBV. Também investigamos variações na dieta dos macacos, no uso do estrato e no orçamento de atividades, prestando especial atenção ao tempo dedicado a quebrar cocos usando ferramentas. No caso das variáveis climáticas, foram usados dados longitudinais desde o ano 2006 até o ano 2020 e, no caso da biomassa e as variáveis comportamentais, foram usados dados dos períodos 2006-2010 e 2015-2020. Para detectar tendências ao longo do tempo foi usado o teste de Mann-Kendall, realizando também previsões climáticas até 2030 através do modelo ARIMA. Comparações entre períodos foram realizadas usando o teste de Kruskal-Wallis, assim como análises de correlação entre todas as variáveis. Encontramos mudanças climáticas, incluindo um aumento na temperatura máxima e uma diminuição na temperatura mínima e umidade mínimas. Também foi encontrada uma intensa queda na oferta de palmeiras com fruto por hectare, de frutos e de invertebrados, os últimos nas estações chuvosas. No caso das variáveis comportamentais, encontramos uma diminuição no tempo que os primatas passam no chão, assim como no tempo dedicado a quebrar cocos usando ferramentas e a se deslocar. Também foram encontradas diferenças no comportamento alimentar, incluindo uma diminuição no consumo de cocos e invertebrados e um aumento no consumo de milho dos cultivos. Os resultados sugerem que as mudanças climáticas e na oferta de recursos estão afetando ao comportamento dos macacos-prego da FBV. Foi confirmada a hipótese de que a tradição de uso de ferramentas está ameaçada, o que parece ser explicado principalmente pela queda na oferta de cocos, a diminuição da umidade mínima e o aumento da temperatura máxima. Se as tendências encontradas na presente pesquisa se mantiverem no futuro, essa tradição cultural pode desaparecer. Nesse contexto, ressaltamos a importância de considerar a diversidade comportamental nos critérios de planos de conservação, não só pelo seu valor intrínseco, mas também pelo seu valor adaptativo para as populações.

Palavras-chave: macaco-prego, diversidade comportamental, respostas comportamentais, uso de ferramentas, orçamento de atividades.

ABSTRACT

Most primate populations are being affected by human pressure, as a result of land use change to intensive agriculture in tropical zones. The Brazilian Cerrado is getting hotter and drier, which has been associated with deforestation, fires, the construction of infrastructure and the advancement of agribusiness. In this scenario, it is important to study how different species are responding to this process. Changes in diet and activity budget, as well as losses in behavioral repertoire, have already been described in populations living in disturbed environments. In addition, some authors suggest that the cultural traditions of several populations, including the capuchin monkeys' (*S. libidinosus*) in the present research, could be threatened by human pressure. The tradition of breaking nuts using tools has been widely studied since 2005 in the population of Fazenda Boa Vista (FBV), which is located in the municipality of Gilbués (PI), considered one of the four desertification centres in Brazil. Despite being a relatively well-preserved private property, the advance of intensive monocultures in the proximity, the arrival of electricity, the paving of the nearest road and the construction of housing may have affected the environmental variables of the region. Therefore, in this research we investigated possible changes in climate and in the offer of fruits, invertebrates, and fruiting palm trees in FBV. We also looked for variations in the monkeys' diet, substrate use, and activity budget, paying particular attention to time spent on breaking nuts using tools. In the case of climate variables, longitudinal data were used from the year 2006 to the year 2020 and, in the case of biomass and behavioral variables, we used data from the periods 2006-2010 and 2015-2020. To detect trends over time, we used a Mann-Kendall, also making climate predictions up to 2030 using an ARIMA model. Comparisons between periods were performed using the Kruskal-Wallis test, as well as correlation analyses between all variables. The results showed climatic changes, including an increase in maximum temperature and a decrease in minimum temperature and minimum humidity. There was also an intense drop in the offer of fruiting palm trees per hectare, fruits and invertebrates, the latter in the rainy seasons. In the case of behavioral variables, we found a decrease in the time that primates spend on the ground, as well as in the time spent breaking coconuts using tools and traveling. Differences in feeding behavior were also found, including a decrease in the consumption of coconuts and invertebrates and an increase in the consumption of corn from the crops. The results suggest that changes in the climate and in the resources are affecting the behavior of the FBV capuchin monkeys. The hypothesis that the using-tool tradition is threatened was confirmed, which seems to be explained mainly by the drop in the fruiting palms, the decrease in minimum humidity and the increase in maximum temperature. If the trends found in this research are maintained in the future, this cultural tradition could disappear. In this context, we emphasize the importance of considering behavioral diversity in conservation criteria, not only for its intrinsic value, but also for its adaptive value for populations.

Keywords: capuchin monkey, behavioral diversity, behavioral responses, tool use, activity budget.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Área de colheita de cana de açúcar, milho e soja no sudoeste Piauiense (PI).....	21
Figura 2 – Localização do município de Gilbués (PI).....	23
Figura 3 – . a) Paisagem original da Fazenda Boa Vista. b) Áreas afetadas pelas queimadas e construção de habitações. c) Áreas afetadas pela erosão.....	24
Figura 4 – Entorno da Fazenda Boa Vista em a) 12/2000; b) 12/2005; c) 12/2013; d) 12/2020.....	26
Figura 5 – a) Simulação da cobertura do solo para a Fazenda Boa Vista (FBV) em 2034. b) Área de vida do macaco-prego em 2017 c) Simulação da mesma área de vida em 2034.....	26
Figura 6 – Rodovias próximas à Fazenda Boa Vista. Em vermelho a BR-235 asfaltada no ano 2013.....	27
Figura 7 – Macacos-prego da Fazenda Boa Vista quebrando cocos usando ferramentas.....	30
Figura 8 – a) Temperatura máxima média (oC) na FBV no de junho de 2006 até março de 2021. b) Temperatura máxima média a partir de dados coletados na FBV (em preto) e previsão até o ano 2030 (em azul).....	36
Figura 9 – a) Evolução da temperatura mínima (oC) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021. b) Evolução da temperatura mínima (oC) na FBV durante as estações chuvosas desde julho de 2006 até março de 2021. c) Temperatura mínima média (oC) a partir de dados coletados na FBV (em preto) e previsão até o ano 2030 (em azul).....	37
Figura 10 – Evolução da umidade máxima relativa (%) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021.....	38
Figura 11 –a) Evolução da umidade mínima relativa (%) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021. b) Evolução da umidade mínima relativa na FBV durante as estações secas desde julho de 2006 até março de 2021. c) Umidade mínima relativa média a partir de dados coletados na FBV (em preto) e previsão até o ano 2030 (em azul).....	38
Figura 12 – Evolução das precipitações (mm) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021.....	39

Figura 13 – Temperatura máxima média (oC) em relação à (a) umidade máxima relativa (%) e (b) umidade mínima relativa (%).....	39
Figura 14 – Número de palmeiras com fruto por hectare na FBV nos períodos 2006-2008 e 2016-2020.....	40
Figura 15 – Biomassa de frutos (kg/ha) estimada na FBV nos períodos 2006-2010 e 2016-2020.....	41
Figura 16 – Biomassa de invertebrados (kg/ha) estimada na FBV nos períodos 2006-2010 e 2016-2020.....	42
Figura 17 – Correlação negativa entre o número de palmeiras com fruto/há e a temperatura máxima (r: -0,353 p: 0,001)	43
Figura 18 – A biomassa de invertebrados foi positivamente correlacionada com a) a temperatura mínima, b) a umidade máxima, c) a umidade mínima e d) a precipitação	44
Figura 19 – Porcentagem de tempo que os macacos-prego da Fazenda Boa Vista dedicam a cada comportamento.	45
Figura 20 – Orçamento de atividades dos macacos-prego da FBV nas estações secas (a) e chuvosas (b)	46
Figura 21 – Porcentagem de tempo dedicado pelos macacos-prego da FBV a se locomover (a) nos períodos 2006-07, 2009-10 e 2015-20 e (b) durante as estações chuvosas dos mesmos períodos. As linhas vermelhas indicam a separação entre cada período de coleta dos dados..	47
Figura 22 – Correlação negativa entre a Tmax média da FBV e o tempo dedicado pelos macacos-prego a se deslocar.....	48
Figura 23 – Tempo (%) que os macacos-prego da FBV dedicaram a comportamentos sociais desde abril de 2006 até outubro de 2020.....	48
Figura 24 – Correlação positiva entre a temperatura mínima média da FBV e o tempo dedicado pelos macacos-prego a comportamentos sociais	49
Figura 25 – Porcentagem de tempo que os macacos-prego da FBV dedicam a quebrar cocos usando ferramentas (a) nos períodos 2006-07, 2009-10 e 2015-20, (b) nas estações secas desses períodos e (c) nas estações chuvosas.....	50

Figura 26 – Correlação positiva entre o tempo que dedicam os macacos-prego da FVB a quebrar cocos usando ferramentas e a quantidade de palmeiras com fruto por hectare.....	50
Figura 27 – O tempo que dedicam os macacos-prego da FVB a quebrar cocos usando ferramentas foi (a) negativamente correlacionado à Temperatura máxima média e (b) positivamente correlacionado a umidade mínima média.....	51
Figura 28 – Porcentagem de tempo que os macacos dedicaram a se alimentar de cada tipo de alimento nos períodos 2006-2010 e 2015-2018 (a), nas estações chuvosas (a) e secas (c) de cada período.....	52
Figura 29 – Porcentagem de tempo que os macacos-prego da FBV dedicaram a se alimentar de invertebrados desde abril de 2006 até junho de 2018. As linhas vermelhas indicam a separação entre cada período de coleta de dados.....	53
Figura 30 – Correlação positiva entre a porcentagem de tempo que os macacos-prego passaram se alimentando de invertebrados e a biomassa estimada de invertebrados na FBV.....	53
Figura 31 – Porcentagem de tempo que os macacos-prego da FBV dedicaram a se alimentar de cocos desde abril de 2006 até novembro de 2017.....	54
Figura 32 – Correlação positiva entre a porcentagem de tempo que os macacos-prego da FBV passam se alimentando de cocos e a biomassa estimada de cocos.....	54
Figura 33 – Porcentagem de tempo que os macacos prego passaram no chão e nas árvores nas estações chuvosas (a) e secas (b), diferenciando entre os períodos 2007-08 (1) e 2015-20 (2) e total do dia (T), manhã (MA), meio do dia (MD) e tarde (TA).....	56
Figura 34 – (a) Correlação negativa entre o tempo que os macacos-prego da FBV passam no solo e o tempo que passam descansando (r: -0,557 p:0,001).....	56
Figura 35 - Correlação negativa entre o tempo que os macacos-prego da FBV passam no solo e a temperatura máxima média (r: -0,395 p: 0,028).....	57
Figura 36 - Correlação positiva entre o tempo que os macacos-prego da FBV passam no solo e a quantidade estimada de palmeiras com fruto por hectare (r: 0,577 p: 0,001).....	57

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Área plantada de cereais, leguminosas e oleaginosas - Piauí - 2007 e 2020.....	20
Tabela 2 – Principais produtos plantados no município de Gilbués (PI) no ano 2020.....	22
Tabela 3 – Etograma já usado por Verderane (2010) com pequenas modificações.....	32
Tabela 4 – Os itens alimentares foram classificados segundo essas categorias.....	33
Tabela 5 – Porcentagem de tempo dedicado a cada comportamento nas estações secas e chuvosas de cada período de estudo.....	45
Tabela 6 – Porcentagem de tempo que os macacos dedicaram a se alimentar de cada tipo de alimento nas estações secas (amarelo) e chuvosas (verde) de cada período.....	52

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.1. Mudança do uso do solo e mudança climática.....	12
1.2. Pressão antrópica sobre primatas	13
1.3. Mudanças comportamentais associadas à pressão antrópica.....	14
1.3.1. Mudanças no orçamento de atividades e na dieta.....	14
1.3.2. Perdas na diversidade comportamental.....	16
1.4. Pressões antrópicas sobre o Cerrado e a Fazenda Boa Vista	19
1.4.1. A Fazenda Boa Vista.....	23
1.5. Objetivo	27
1.6. Hipóteses e previsões	28
2. MÉTODOS.....	30
2.1. A espécie.....	30
2.2. Sujeitos.....	31
2.3. Coleta de dados.....	31
2.4. Análises estatísticas	34
3. RESULTADOS	36
3.1. Clima	36
3.2. Biomassa de palmeiras, frutos e invertebrados	40
3.3. Orçamento de atividades	44
3.4. Comportamento alimentar	51
3.5. Uso do estrato	55
4. DISCUSSÃO	58
4.1. Mudanças nas variáveis ambientais da Fazenda Boa Vista	58
4.2. Mudanças no comportamento dos macacos-prego da FBV	63
4.2.1. Mudanças no comportamento alimentar	66
5. CONCLUSÃO.....	69
6. REFERÊNCIAS	70

1. INTRODUÇÃO

1.1. Mudança no uso do solo e mudança climática

Desde o final do século passado, cientistas têm discutido as mudanças no uso do solo e seus efeitos nas comunidades vegetais, animais e na saúde humana. A expansão da agricultura, desmatamento e urbanização, entre outros factores, têm alterado substancialmente as paisagens no nível global, resultando na extinção de espécies nativas, introdução de espécies exóticas, redirecionamento de fluxos hidrológicos e contaminação do solo, ar e água (Ojima *et al.*, 1994). Da mesma forma, a mudança no uso do solo contribui para mudança climática (através das emissões de gases como o CO₂ e o metano, entre outros), que, por sua vez, afeta os padrões de cobertura da terra (Dale, 1997). Embora estejamos falando de um fenômeno global, esses processos parecem ser mais intensos nas regiões tropicais.

A expansão da agricultura, impulsionada pelas demandas globais de produtos agropecuários está ocorrendo majormente na América do Sul e na África Subsaariana, regiões que possuem grandes áreas de terra com potencial agrícola inexplorado, incluindo florestas úmidas e terras semi-áridas (Chapman & Peres, 2001; Estrada *et al.*, 2012; Laurance *et al.*, 2014). Diante desse cenário, a perda de biodiversidade está sendo drástica, particularmente nos biomas mediterrâneos e tropicais, que são os que apresentam maior riqueza de espécies e endemismos (Newbold *et al.*, 2020), sendo a América do Sul o continente com maior risco de extinção de espécies (Scarano, 2018). Associado ao desmatamento e crescimento do agronegócio, nos trópicos vivemos uma era de expansão de infraestruturas de transporte sem precedentes. As estradas estão agora penetrando em muitas das últimas regiões tropicais do mundo e, ao fornecer acesso aos recursos naturais durante todo o ano, têm impactos particularmente grandes nas florestas, pois tendem a gerar estradas secundárias que amplificam a extensão da conversão florestal (Laurance *et al.*, 2013). Além disso, a intensificação da agricultura tem levado ao uso massivo de agrotóxicos, que têm efeitos drásticos na biodiversidade animal e vegetal, nas cadeias alimentares e nos ecossistemas aquáticos e terrestres, pois cerca de 80-90% dos pesticidas aplicados podem volatilizar em poucos dias após a aplicação (Mahmood *et al.*, 2016). A redução da quantidade de ervas, arbustos e insetos dos quais se alimentam as ordens superiores, assim como a bioacumulação de pesticidas nas redes alimentares também é de grande preocupação, pois afeta diretamente os predadores e aves de rapina. De fato, a pulverização de agrotóxicos também tem sido associada ao declínio na população de espécies raras de animais e aves, assim como populações de insetos benéficos, como abelhas e besouros (Mahmood *et al.*, 2016).

1.2. Pressão antrópica sobre primatas

Muitas espécies animais estão sendo afetadas por esse cenário de mudança global, sendo que as taxas de extinção são maiores do que caberia esperar pelo registro fóssil, de forma que vários autores sugerem que estamos vivendo a sexta extinção em massa (Barnosky *et al.*, 2011). A queda populacional e perda de espécies têm sido demonstradas em muitas taxa, e deve continuar nas próximas décadas (insetos: Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; aves: Bowler *et al.*, 2019; anfíbios e répteis: Alroy, 2014 ;peixes: Christensen *et al.*, 2014; mamíferos: Ceballos & Ehrlich, 2002).

No caso dos primatas, desde a década de 1980 a comunidade científica tem mostrado uma crescente preocupação pelo aumento da pressão antrópica sobre a maioria das populações (Struhsaker, 1981; Chapman & Peres, 2001; Estrada *et al.*, 2017). De fato, estima-se que cerca de 50% dos táxons de primatas do mundo estão em risco de extinção como resultado da ação humana (Estrada, 2013). O crescimento das áreas de cultivo está resultando em mudanças na distribuição das populações, sendo que a maioria delas já habita em agroecossistemas, isto é, ecossistemas nos quais a vegetação e a fauna nativa foram parcial ou completamente substituídas por plantações e pecuária (Estrada *et al.*, 2012). Estrada *et al.* (2012) apontam que, embora os agroecossistemas possam oferecer uma maior disponibilidade de recursos alimentares, também expõem os primatas a perigos ambientais, conflito com humanos e zoonoses, entre outros. De fato, alguns tipos de plantações parecem incompatíveis com a sobrevivência da maioria dos vertebrados que ocorriam na floresta original (Donald, 2004; Estrada, 2013). Por esse motivo, é urgente entender as respostas comportamentais dos primatas em curto e em longo prazo, pois, embora alguns agroecossistemas sejam altamente simplificados, outros são mais complexos e sustentam uma maior biodiversidade (Donald, 2004; Estrada *et al.*, 2012). Por exemplo, em Sumatra a produção de dendê teve como consequência o desaparecimento de todas as espécies de primatas exceto uma nas áreas de cultivo (Donald; 2004), enquanto paisagens fragmentadas que apresentam uma matriz agroflorestal ou outro tipo de agroecossistema arbóreo possibilitam a dispersão de primatas (Estrada *et al.*, 2012). Nesse contexto, é importante estudar quais espécies ou populações conseguem se ajustar aos diferentes tipos de agroecossistemas, assim como pesquisar o papel da plasticidade comportamental, pois pode ser adaptativa para lidar com alterações antrópicas e outras mudanças ambientais (Lee, 1991)

1.3. Mudanças comportamentais associadas à pressão antrópica

1.3.1. Mudanças no orçamento de atividades e na dieta associadas às atividades humanas

O orçamento de atividades, isto é, o tempo que os animais dedicam a cada comportamento, pode fornecer informações úteis sobre a importância relativa de vários comportamentos em termos de obtenção e gasto de energia, além de ser um bom indicador da perturbação humana na vida de animais selvagens (Christiansen *et al.*, 2013). Embora o orçamento de atividades tenha sido pesquisado em muitas espécies, comparando categorias sexo-etárias, diferentes estações ou populações livres e animais de cativeiro, só nos últimos anos estão sendo investigadas mudanças associadas à pressão antrópica, sendo que a maioria de estudos compara populações que vivem em habitats mais ou menos alterados (Chipman *et al.*, 2008 ; Bishop *et al.*, 2015). Por exemplo, Christiansen *et al.* (2013) mostraram que baleias de áreas onde há turismo de observação de cetáceos dedicam menos tempo a forragear e se alimentar na superfície do que populações de zonas onde não acontece essa atividade. Da mesma forma, pesquisas estão mostrando mudanças na composição da dieta e comportamento alimentar associadas à pressão antrópica, em muitos casos pela exploração de cultivos ou lixo por parte de populações selvagens. Por exemplo, em um estudo longitudinal com 30 anos de dados, Calado *et al.* (2020), mostraram que gaivotas de patas amarelas (*Larus michahellis*) reduziram significativamente o consumo de peixes, baseando a dieta em crustáceos, como consequência das atividades de pesca.

No caso dos primatas, as respostas comportamentais das populações que vivem em habitats antropizados também estão sendo cada vez mais estudadas. Os ajustes mais descritos têm a ver com a dieta, seguida por mudanças socio-ecológicas e condutas associadas a novos riscos. No entanto, a maioria de publicações sobre esta matéria refere-se a espécies com ocorrência na África e na Ásia (Estrada *et al.*, 2012; McLennan *et al.*, 2017). Isso mostra a necessidade de estudar essas questões em primatas neotropicais.

Espécies com maior flexibilidade comportamental conseguem ajustar o tempo dedicado a cada comportamento em função das limitações temporais e energéticas. Ashbury *et al.* (2022) investigaram os efeitos de um período incomumente longo de escassez de frutas provocado por uma temporada de incêndios sobre o comportamento e a sociabilidade de fêmeas de orangotangos de Bornéu (*Pongo pygmaeus*). Os pesquisadores descobriram que, após os incêndios, as fêmeas de orangotango adotaram um padrão de atividade e alimentação mais orientado à economia de energia – descansando mais, viajando menos e mudando a dieta

para alimentos menos preferidos – em comparação com a época pré-incêndios. Além disso, vários estudos mostram que populações de primatas que consomem alimentos antrópicos parecem alterar o orçamento de atividades. Por exemplo, lãngures de cabeça branca (*Trachypithecus poliocephalus*) em hábitats de alta qualidade dedicam menos tempo a se alimentar e mais tempo a brincar do que aqueles que vivem em hábitats mais alterados (Li & Rogers, 2004); macacos-prego (*Sapajus spp.*) em áreas verdes urbanas passam mais tempo deslocando e forrageando se comparados com aqueles que vivem em grandes fragmentos e florestas (Back *et al.*, 2019). Mudanças no uso do estrato também podem ser observadas. De fato, alguns autores apontam que primatas que vivem em hábitats alterados precisam se deslocar pelo chão para viajar entre manchas de floresta (Mourthé *et al.*, 2007). No entanto, são necessários estudos a longo prazo que pesquise mudanças intrapopulacionais.

No caso da dieta, primatas generalistas, com uma maior flexibilidade alimentar, têm maiores chances de sobreviver em habitats alterados. Tais espécies parecem compensar o estresse alimentar associado aos hábitats antrópicos através do consumo de itens de cultivos, lixo ou alimentos ofertados por turistas (McKinney, 2011). Uma das principais preocupações a esse respeito é a manutenção dos comportamentos de forrageamento típicos da espécie, pois há evidências da necessidade de aprendizagem social para seu desenvolvimento. Além disso, a alimentação suplementar pode ser uma das formas mais influentes de distúrbio antropogênico, afetando a ecologia, demografia e comportamento social dessas populações (McKinney, 2011). Embora primatas que se alimentam de plantações raramente deixam de forragear alimentos silvestres, a composição e diversidade de suas dietas pode ser alterada. Em cebíneos, vários estudos mostraram que o consumo de alimentos de origem antrópica, como milho e cana de açúcar, pode atingir proporções altas (Freitas *et al.*, 2008; McKinney, 2011; de Souza Lins & Ferreira, 2019; Rodrigues, 2013). Essas pesquisas sugerem que os macacos respondem ao aumento da pressão antrópica explorando os recursos alimentares, no entanto, parecem manter padrões de forrageamento similares aos de populações em habitats preservados. Porém, são desconhecidas as consequências das diferentes formas de pressão antrópica no comportamento alimentar a longo prazo, pois a maioria dos estudos se baseia em dados coletados em períodos de tempo relativamente curtos (um ou dois anos), e que são comparados com pesquisas de outras populações. Além disso, o aumento de agriculturas pode ajudar não apenas à sobrevivência de algumas espécies, como o macaco-prego (*Sapajus spp.*), mas também ao crescimento populacional, o que pode causar conflitos com os agricultores no futuro (Freitas *et al.*, 2008).

Por outro lado, à medida que as mudanças climáticas continuam alterando as paisagens de recursos, a capacidade de responder de forma flexível a mudanças espaço-temporais nas fontes de alimentos é cada vez mais importante para a aptidão dos animais que vivem em ambientes variáveis. Além de mudanças no orçamento de atividades, Ashbury *et al.* (2022) mostraram que as probabilidades de associação entre fêmeas e seus filhotes imaturos desmamados, e entre fêmeas adultas (aparentadas e não aparentadas) eram menores, e a probabilidade de interações agonísticas entre fêmeas não aparentadas era maior após o período de incêndios. As espécies de fissão-fusão podem mitigar os efeitos das variações nas paisagens alterando os padrões de (sub)divisão; no entanto, isso pode ter consequências indiretas de longo prazo em sua aptidão. Nesse contexto, autores apontam que a pressão antrópica pode causar discrepâncias entre o comportamento observado e o previsto pelos modelos socioecológicos. Primatas evoluíram mecanismos que os permitem lidar com um maior risco de predação ou uma menor abundância de recursos. Por exemplo, em macacos-prego (*S. xanthosternos*) de uma área de Mata Atlântica onde a pressão de caça é alta, o tamanho do grupo e a razão sexual é maior do que seria previsto em função da disponibilidade e distribuição de recursos alimentares (Suscke, 2014; Izar, 2016). É esperado, portanto, que espécies que apresentam uma maior flexibilidade comportamental sejam capazes de ajustar a estrutura social diante das pressões antrópicas imediatas.

1.3.2. Perdas na diversidade comportamental

A biodiversidade pode ser definida como a “variedade total de vida na Terra”, e uma grande parte dessa variedade é variação fenotípica hereditária, independentemente do mecanismo pelo qual essa informação é transmitida (genética, epigenética, aprendizagem etc.) (Whitehead *et al.*, 2004). A diversidade comportamental é considerada cada vez por mais autores como um elemento da biodiversidade (Stone *et al.*, 1994; de Resende *et al.*, 2011). Além disso, o comportamento é uma parte crucial do fenótipo de um organismo, e muitas vezes é a principal maneira pela qual ele interage com seus ambientes inanimados, biológicos e sociais (Whitehead, 2010). Assim, os padrões de comportamento dentro e entre as populações, são cruciais ao manejar e conservar a vida selvagem.

Diante das ameaças que muitas espécies estão sofrendo, há uma crescente preocupação tanto pela sobrevivência das populações, quanto pela preservação da diversidade comportamental e das tradições locais (Kühl *et al.*, 2019; van Schaik, 2002). A uniformização de paisagens pode levar não só à perda de populações, mas também à uniformização de

comportamentos entre elas. Estudos longitudinais que comparem a mesma população em diferentes estágios de perturbação, podem fornecer informação sobre a diversidade comportamental intraespecífica e sobre as respostas dos animais às mudanças ambientais imprevisíveis tanto a curto quanto a longo prazo (Strier *et al.*, 2009; Hockings *et al.*, 2015; Berger-Tal *et al.*, 2011; Testard *et al.*, 2021).

Vários estudos evidenciam perdas na diversidade comportamental em diferentes taxas por causa da alteração do hábitat. Por exemplo, um estudo com várias espécies de odonatos mostrou perdas no repertório comportamental, particularmente de comportamentos sexuais, em áreas alteradas pela atividade humana (de Resende *et al.*, 2011). Da mesma forma, a fragmentação do hábitat é associada à uniformização interindividual das vocalizações da calhandra de dupont (*Chersophilus duponti*) (Laiolo & Tella, 2005). Essa questão tem sido muito estudada em primatas, havendo pesquisas que mostram perdas no repertório comportamental em gêneros filogeneticamente distantes, como é o caso de *Alouatta* e *Pan* (Stone *et al.*, 1994; Negrín *et al.* 2016). Por exemplo, Negrín *et al.* (2015) mostraram que o repertório de interação social em grupos de bugios (*Alouatta pigra*) em habitats com maior perturbação antrópica é menor. Em particular, há menos comportamentos energeticamente custosos, o que pode ser explicado por uma estratégia de economia de energia, uma vez que têm menor acesso a alimentos de alta qualidade.

Igualmente, as tradições culturais de animais não humanos, isto é, “práticas comportamentais que são relativamente duradouras, compartilhadas entre dois ou mais membros de um grupo e que dependem em parte da aprendizagem com auxílio social para sua geração em novos praticantes” (Fragaszy & Perry, 2003; Huffman *et al.*, 2008; Laland & Hoppitt, 2003), podem estar sendo ameaçadas. Essa questão tem sido pouco pesquisada, porém, há indícios de que a caça de baleias tenha removido conhecimentos culturais em algumas populações, fato que provavelmente iniba sua recuperação (Whitehead *et al.*, 2004) e, em primatas, vários autores alertaram que tradições culturais estão em risco (van Schaik, 2002; Presotto *et al.*, 2020). Segundo van Schaik (2002), a complexidade das tradições locais pode ser considerada como uma função da frequência cumulativa de oportunidades para a aprendizagem social, pelo que fatores como a caça e a alteração do hábitat podem estar associados à perda de tradições locais.

Whitehead *et al.* (2004) defendem que a preservação de variantes culturais significativas em espécies que apresentam tradições é uma parte importante da conservação da própria espécie. Enquanto “conservação” quando aplicada a humanos quase sempre se

refere a atributos culturais, para todas as outras formas de vida, tem sido fortemente focada na diversidade genética. Da mesma forma que é bastante aceito que a principal vantagem adaptativa da cultura em humanos é se adaptar às mudanças ambientais, é importante levar em conta que se os animais aprendem socialmente de forma horizontal, podem se ajustar a ambientes em mudança mais depressa do que se cada indivíduo tivesse que aprender o comportamento adequado de forma independente, e muito mais rapidamente do que seria possível através da seleção natural (Laland *et al.*, 1996). Assim, as espécies com capacidades culturais possuem uma vantagem potencial quando os ambientes mudam (Whitehead *et al.*, 2004).

Nos últimos anos, tem sido promovido, na área da conservação, o conceito de “unidades evolutivamente significativas” (ESUs), que considera populações abaixo do nível de subespécie. No entanto, ainda não foi consensuada uma definição de ESU, e normalmente o foco tem sido colocado nas características genéticas. Por isso, Whitehead *et al.* (2004) propõem mudar a definição "linhagem que apresenta um fluxo gênico altamente restrito diferente de outras linhagens dentro do nível organizacional superior da espécie" por "linhagem que apresenta um fluxo altamente restrito de informações fenotípicas diferentes de outras linhagens dentro do nível organizacional superior da espécie".

Basear as medidas de conservação apenas em indicadores genéticos ou demográficos pode negligenciar a manutenção da diversidade comportamental, chegando a prejudicar a viabilidade de grupos ou populações. Neste cenário, cada vez mais autores defendem que o estudo do comportamento animal pode ser uma ferramenta muito útil na biologia da conservação (Buchholz, 2007; Caro, 2007; Berger-Tal *et al.*, 2011). Compreender a importância da diversidade comportamental facilitará a avaliação do status de populações potencialmente vulneráveis e ajudará a conceber estratégias de conservação eficazes. De fato, resultados positivos podem depender da restauração do conhecimento cultural, já que a aprendizagem social tem o potencial de influenciar fortemente o comportamento migratório, o uso do habitat, a procura de alimentos ou a interação com as atividades humanas (Brakes *et al.*, 2019).

Na presente pesquisa investigaremos a hipótese de Presotto *et al.* (2020) de que a tradição cultural de quebra de cocos da população de macaco-prego (*Sapajus libidinosus*) da Fazenda Boa Vista está ameaçada pela crescente pressão antrópica. No gênero *Sapajus*, a variação e flexibilidade comportamental têm sido amplamente descritas (Verderane, 2010; Izar, 2016; Sabbatini *et al.* 2007; Izar & Ferreira, 2007). Porém, ainda é muito limitado o

conhecimento sobre mudanças comportamentais associadas à atividade humana, incluindo a agricultura, em primatas neotropicais (McLennan *et al.* 2017). Neste gênero, as tradições locais vêm sendo investigadas há alguns anos. De fato, o uso de ferramentas para quebrar cocos em macacos-prego selvagens só foi descrito por pesquisadores no ano 2004 (Fragaszy *et al.*, 2004; Moura & Lee, 2004), ocorrendo em populações que vivem nos biomas Cerrado e Caatinga, mas não naquelas que habitam a Mata Atlântica, pelo que o comportamento se atribui às características ecológicas de cada região (Ottoni & Izar, 2008; Izar, 2016; Izar, *et al.*, 2018). A tradição de quebra de cocos da população selvagem de macacos-prego da Fazenda Boa Vista é um dos exemplos de uso de ferramentas em animais melhor estudados: eles quebram várias espécies de cocos usando pedras duras como martelos e pedregulhos ou troncos como bigornas. Vários trabalhos mostraram a importância da aprendizagem socialmente mediada, assim como de um contexto físico adequado, para a manutenção dessa tradição cultural (Eshchar *et al.*, 2016; Fragaszy *et al.*, 2013). Os filhotes interagem com os artefatos e cascas anos antes de começarem a quebrar com sucesso, e a taxa de manipulação de cocos pelos juvenis quadruplica quando outros indivíduos quebram e comem cocos. Da mesma forma, quando estão perto das bigornas, os jovens são mais propensos a manipular cocos e batê-los com pedras (Eshchar *et al.*, 2016). A falta de facilitação social ou de artefactos e cocos poderia, portanto, dificultar o desenvolvimento desse comportamento. Além disso, uma das chaves para a utilização de ferramentas pode ser o uso do solo, pois passar tempo coletando ou procurando alimentos no chão, em vez de nas árvores, aumenta as chances dos indivíduos tentarem coletar ou processar alimentos nos lugares onde se encontram as potenciais ferramentas (Visalberghi *et al.*, 2005; Meulman *et al.*, 2012).

1.4. Pressões antrópicas sobre o Cerrado e a Fazenda Boa Vista

O Cerrado, segundo maior bioma do Brasil e considerado um hotspot global de biodiversidade, já perdeu 46% da vegetação nativa. Pesquisas recentes indicam uma taxa de conversão de 5000 km² ao ano, principalmente para pastagens e zonas agrícolas (Hofmann *et al.*, 2021).

O Cerrado brasileiro encontra-se em um processo de mudança de cobertura e uso da terra que remonta a mais de meio século. A partir da década de 1990, a perda de vegetação nativa intensificou-se devido à expansão das lavouras de soja em novas fronteiras agrícolas nos estados do Maranhão, Tocantins, Piauí e Bahia (MAPITIBA). A conversão do solo em culturas intensivas e pastagens parece ser uma das principais causas de mudança climática.

Em um artigo publicado recentemente, Hofmann *et al.* (2021) mostraram que o Cerrado é cada vez mais quente e seco, sendo detectada essa tendência a escala local e regional. Os autores registraram aumentos mensais de 2,2 a 4,0°C nas temperaturas máximas e 2,4 a 2,8°C nas temperaturas mínimas entre 1961 e 2019. Além disso, a umidade relativa foi reduzida em ~15%. Se essas tendências forem mantidas, o aquecimento gradual do ar fará com que o resfriamento noturno seja insuficiente para atingir o ponto de orvalho nas primeiras horas da noite, o que envolve a redução progressiva tanto da quantidade quanto da duração do orvalho, que é a principal fonte de água para inúmeras espécies de plantas e animais do Cerrado durante a estação seca (Hofmann *et al.*, 2021). A correlação negativa entre a temperatura e a umidade relativa tem sido amplamente mostrada e sabe-se que se a umidade absoluta for mantida constante, um aumento na temperatura do ar resultará em uma diminuição na umidade relativa e uma diminuição na temperatura do ar resultará em um aumento na umidade relativa (Bencloski, 1982).

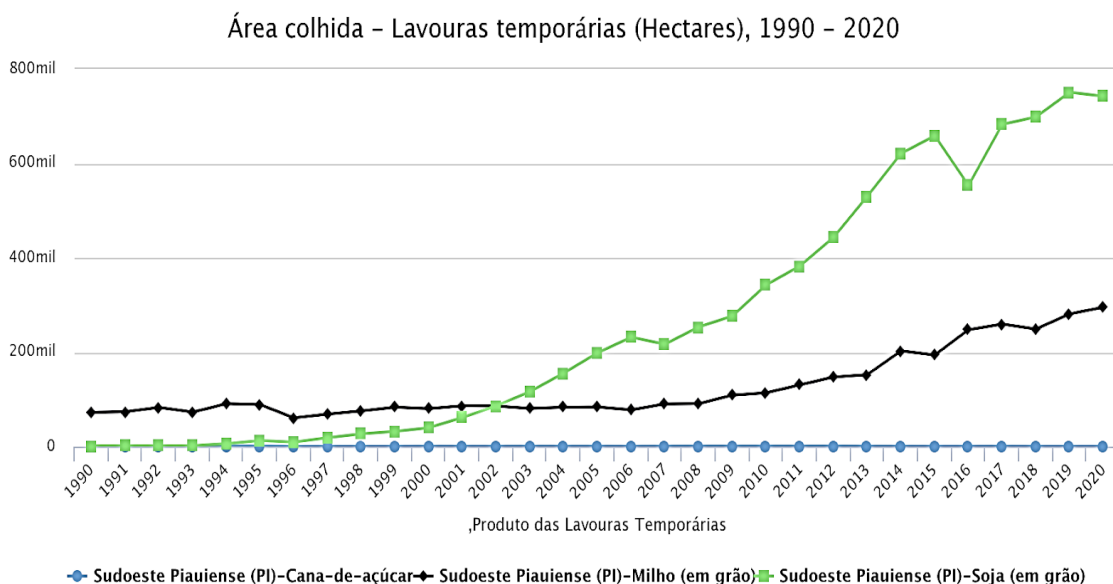
No estado do Piauí, onde os biomas predominantes são a Caatinga e o Cerrado, a superfície dedicada a cultivos tem aumentado exponencialmente nos últimos anos, sendo que entre 2007 e 2020, a área plantada de sorgo e de soja cresceu 2430% e 245% respectivamente, enquanto o milho, um alimento que pode ser consumido por primatas (Spagnoletti *et al.*, 2017), aumentou em 54% (Tabela 1). No sudoeste Piauiense, região estudada nesta pesquisa, encontra-se a mesma tendência (Fig. 1).

Tabela 1 - Área plantada de cereais, leguminosas e oleaginosas - Piauí - 2007 e 2020.

Principais produtos	Área plantada (ha) em 2007	Área plantada (ha) em 2020	Aumento (%)
Algodão herbáceo (em caroço)	13 778	18 401	34
Amendoim (em casca)	23	50	117
Arroz (em casca)	157 503	54198	-66
Feijão (em grão)	233 920	202 547	-13
Milho (em grão)	303 608	467765	54
Soja (em grão)	219 860	757978	245
Sorgo granífero (em grão)	800	20 237	2430

Fonte: IBGE. Séries históricas da Produção Agrícola Municipal

Fig. 1. Área de colheita de cana de açúcar, milho e soja no sudoeste Piauiense (PI). Fonte: IBGE. Séries históricas da Produção Agrícola Municipal



Focando no município de Gilbués, dados do ano 2020 mostram que mais de 41.000 hectares são dedicados à produção agrícola, sendo que a maioria delas é destinada à produção de soja, seguida de milho, enquanto o sorgo não parece ser cultivado em grande escala na região (Tabela 2). A intensificação da agricultura tem sido acompanhada do uso de agrotóxicos, que podem afetar severamente o ecossistema, sendo um dos fatores que contribuem para a desertificação (Rodrigues de Carvalho et al., 2018). No ano 2006, apenas 1,82% dos estabelecimentos agropecuários usaram agrotóxicos. Já no ano 2016 a cifra aumentou até 7,75%, sendo que tanto a quantidade de estabelecimentos que utilizam agrotóxicos quanto o orçamento dedicado à sua compra difere em função do tipo de agricultura: no ano 2016, quando a agricultura era familiar, apenas 6,51% dos estabelecimentos usaram agrotóxicos, envolvendo apenas o 0,3% das despesas. No caso da agricultura não familiar essas porcentagens subiram a 12,93% e 15,02% respectivamente (IBGE, censo agropecuário de 2006 e de 2017).

Tabela 2. Principais produtos plantados no município de Gilbués (PI) no ano 2020.

	Área plantada (Ha)	Quantidade produzida (t)	Valor da produção (Mil Reais)
Total	41274	..	218324
Soja (em grão)	29915	108258	153514
Milho (em grão)	8370	79338	56541
Arroz (em casca)	1479	3947	4602
Feijão (em grão)	1400	815	3260
Mandioca	100	1200	384
Sorgo (em grão)	-	-	-
Outros	10		23

Fonte: IBGE, Diretoria de Pesquisas, Coordenação de Agropecuária, Produção Agrícola Municipal 2007

Pesquisas mostraram que Gilbués é um dos quatro núcleos de desertificação que encontramos no Brasil, sendo, de fato, a maior área danificada em termos de extensão e intensidade Tomasella *et al.*, 2018; De Oliveira *et al.*, 2011. Segundo vários autores, o processo de degradação do sul do Estado do Piauí assumiu especial importância em função do desenvolvimento acelerado do agronegócio que se instalou sobre as chapadas substituindo as coberturas de savana florestada por culturas mecanizadas de sequeiro (soja, algodão etc.) de elevada produtividade (Tomasella *et al.*, 2018; De Oliveira *et al.*, 2011; Crepani, 2009; Presotto *et al.*, 2020). Além da destruição direta do hábitat dos primatas, a conversão de paisagens naturais em áreas de cultivo ou pastagens permanentes em grande escala altera o clima regional por meio de seus efeitos sobre os equilíbrios de energia e água. De fato, esses processos estão ligados a complexas interações solo-vegetação-atmosfera, e podem atenuar ou amplificar a mudança climática causada por ações antropogênicas (Hofmann *et al.*, 2021).

Neste cenário, as populações podem lidar com as mudanças climáticas adaptando-se *in situ* ou dispersando-se para habitats mais adequados. Tal dispersão pode ser um desafio para os primatas, sobretudo se levarmos em conta as previsões de desmatamento. Conseqüentemente, a sobrevivência de muitas espécies dependerá de sua capacidade de adaptação *in situ*. Portanto, a plasticidade fisiológica e comportamental pode desempenhar um papel fundamental nesse processo. Pouco se sabe sobre a extensão em que os mamíferos podem se ajustar a tais variações por meio desses mecanismos, sendo que os declínios populacionais devido às mudanças climáticas evidenciam que a maioria de espécies não está se adaptando localmente (Meyer & Pie, 2022).

1.4.1. A Fazenda Boa Vista

A Fazenda Boa Vista é uma área localizada no ecótono Cerrado-Caatinga, no município de Gilbués, ao Sul do estado do Piauí, ($9^{\circ} 39'S$; $45^{\circ} 25'O$) (Fig. 2). Trata-se de uma planície com presença de escarpas e mesas de arenito que atingem 30 m de elevação. A vegetação é heterogênea, composta principalmente por árvores e arbustos baixos. As áreas planas são constituídas por chapadas, brejos e grotas, enquanto os morros de arenito apresentam zonas de encosta, paredões rochosos e topo de morros (Verderane, 2010).

Fig. 2. Localização do município de Gilbués (PI).

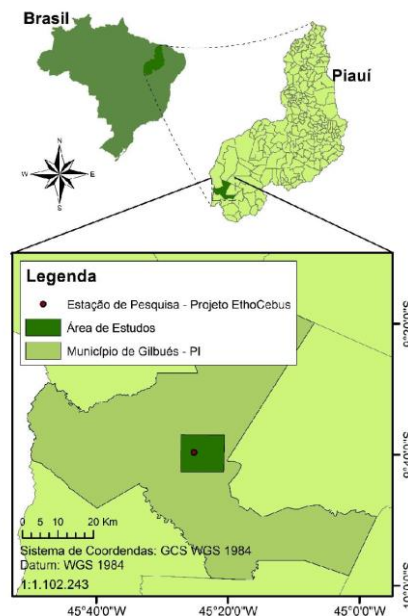


Imagem: Moreno (2015)

É composta por um mosaico de áreas bastante preservadas, especialmente nas zonas dos morros, e áreas mais afetadas pela desertificação e pela exploração humana, incluindo agricultura intensiva, extração de madeira, criação de gado, roças e áreas com habitações (Fig. 3). A biomassa de frutos é elevada durante todo o ano, não havendo uma diminuição drástica na estação seca (Santos, 2015; Izar, 2016).

Fig. 3. a) Paisagem original da Fazenda Boa Vista. b) Áreas afetadas pelas queimadas e construção de habitações. c) Áreas afetadas pela erosão.



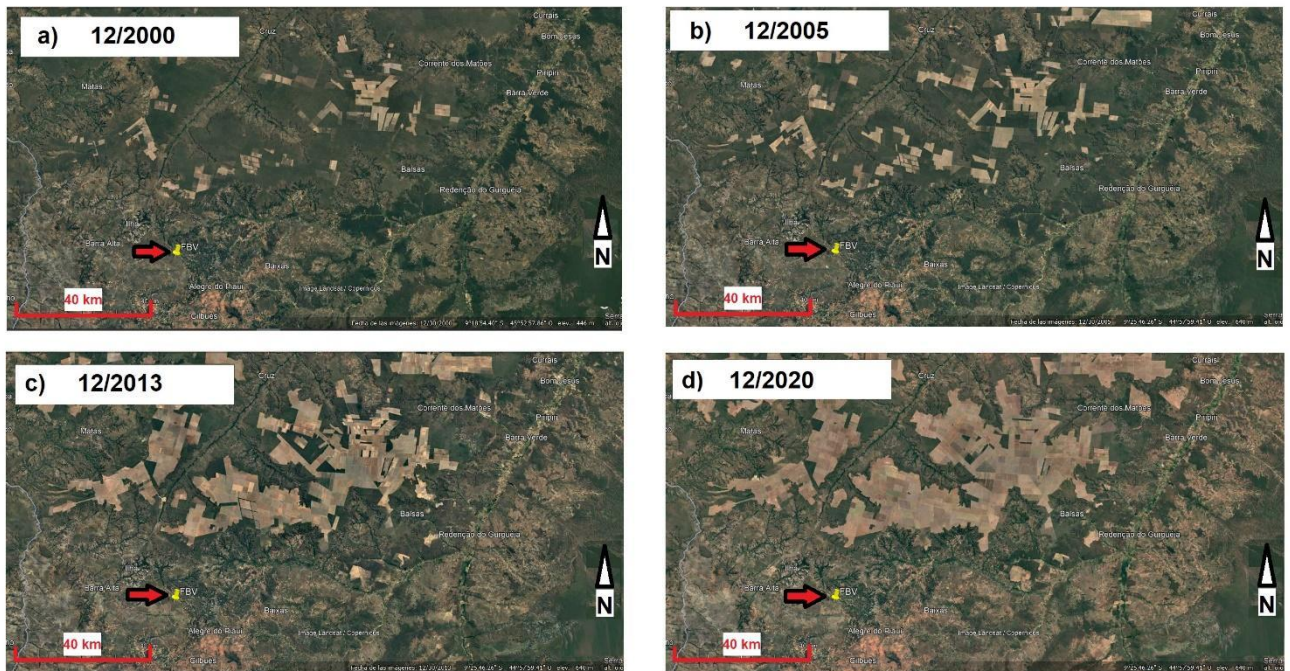
Imagens: Patrícia Izar. Julho 2022

A população de macacos-prego (*Sapajus libidinosus*) da Fazenda Boa Vista vem sendo estudada desde o início dos anos 2000, junto com variáveis ecológicas de importância nos estudos comportamentais, como a biomassa de frutos e invertebrados e dados climáticos. Embora a caça seja uma prática comum na região, a caça aos macacos foi proibida pelo proprietário da área também no começo dos anos 2000 (Izar, 2016). Os macacos-prego usam as plantações de milho, os pomares de manga e frutos de palmeiras, estas últimas fonte de água, mesocarpo e endosperma (Spagnoletti et al., 2017; Izar, 2016).

Embora a FBV seja uma propriedade privada relativamente preservada e heterogênea, apresentando diferentes fisionomias de acordo com a topografia, análises de imagens de satélite da cobertura vegetal nos anos 1987, 2000 e 2017 mostraram um incremento da agricultura intensiva (especialmente de soja, milho e sorgo) de mais do 300% no entorno. Também foi observado um crescimento no uso dos solos úmidos, o que resultou numa diminuição de 15% da vegetação ripária e perda de água superficial (Fig. 4). As pastagens também aumentaram, processo que provavelmente continue nos próximos anos. De fato, prevê-se que a distância entre a área de vida dos macacos e os terrenos dedicados à agricultura comercial, que em dezembro de 2020 já era de uns 18 km, continue diminuindo (Fig. 5) (Presotto et al., 2020). Além disso, a intensificação da agricultura na região tem vindo acompanhada de um maior uso de agrotóxicos, em alguns casos pulverizados mediante aviões (Izar, com. pessoal), o que pode contaminar e chegar a afetar a populações de plantas e invertebrados não-alvo, aves e outros vertebrados da zona. Outros fatores que podem ter aumentado a pressão antrópica sobre a FBV são as queimadas, a construção de habitações, a chegada de energia elétrica posterior ao ano 2012 e a pavimentação da rodovia federal BR-235 no ano 2013 (Fig. 6), situada apenas a 6km da área de vida dos macacos.

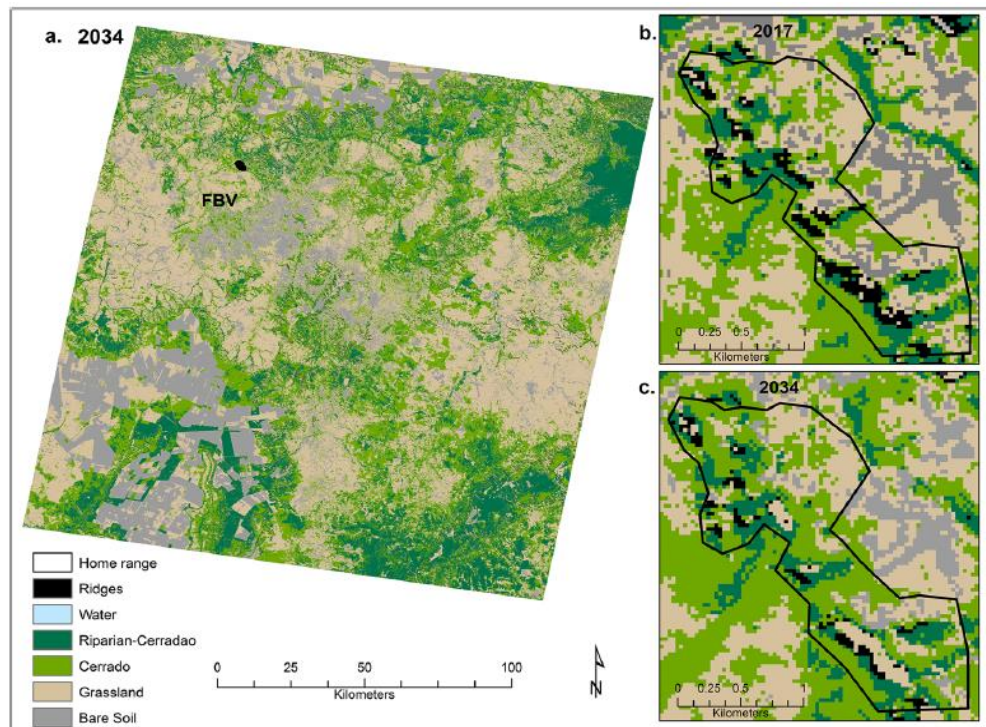
Diante desse cenário de desenvolvimento acelerado, a população nativa de macaco-prego da Fazenda Boa Vista, que tem sido estudada em profundidade desde o começo dos anos 2000, é muito apropriada para pesquisar: (1) como uma tradição local pode ser afetada em um período de tempo relativamente curto e (2) como uma espécie de primata com alta flexibilidade comportamental responde às mudanças ambientais.

Fig. 4. Entorno da Fazenda Boa Vista em a) 12/2000; b) 12/2005; c) 12/2013; d) 12/2020.



Imagens obtidas através de Google Earth

Fig. 5. a) Simulação da cobertura do solo para a Fazenda Boa Vista (FBV) em 2034. B) Área de vida do macaco-prego em 2017 c) Simulação da mesma área de vida em 2034.



Fonte: Artigo de Presotto *et al.* (2020)

Fig. 6. Rodovias próximas à Fazenda Boa Vista. Em vermelho a BR-235 asfaltada no ano 2013.

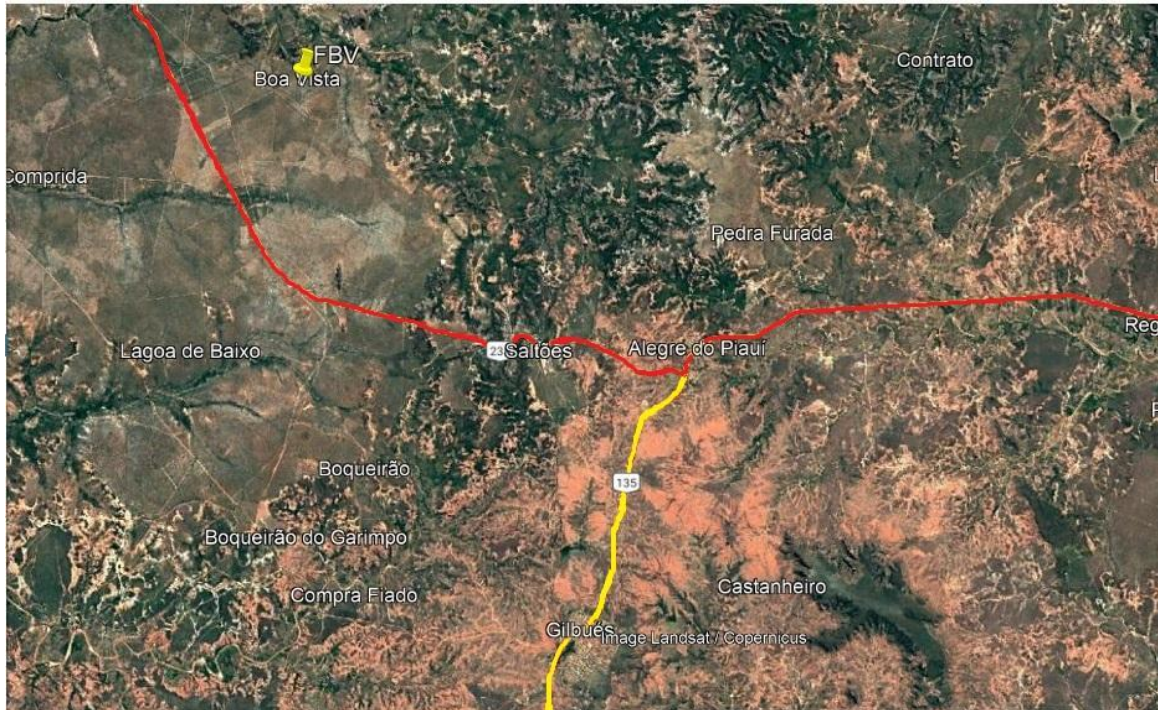


Imagem: Google Earth

4. Objetivo

O objetivo do presente trabalho é investigar se o aumento da antropização da Fazenda Boa Vista, uma área no ecótono Cerrado-Caatinga, especificamente devido ao aumento da agricultura intensiva, pavimentação asfáltica de rodovia federal e chegada de energia elétrica, está relacionado a alterações no comportamento de macacos-prego, *Sapajus libidinosus*, que habitam a região. Serão investigadas as hipóteses propostas por Presotto *et al.* (2020), que sugerem que a transformação acelerada do uso do solo na área onde se encontra a Fazenda Boa Vista pode estar afetando as características ecológicas, incluindo a oferta de cocos e bigornas, da área. Por isso, estudaremos a variação na biomassa de frutos, invertebrados e cocos, assim como na temperatura e umidade entre dois períodos, 2006-2014 e 2015-2021. O aumento da pressão antrópica pode estar colocando em risco a tradição local de uso de ferramentas pelos macacos na atividade de quebra de cocos. Sob essa perspectiva, serão investigadas possíveis variações no orçamento de atividades, focando no tempo dedicado ao uso de ferramentas. Também estudaremos o uso do estrato, pois variações ao longo do tempo poderiam refletir mudanças nas características ecológicas da região. Por último analisaremos a dieta dos macacos com o objetivo de descrever possíveis variações nas

proporções de itens consumidos, incluindo uma maior ingestão de alimentos provenientes de cultivos, e talvez uma menor ingestão de invertebrados e cocos.

5. Hipóteses e previsões

H₁. A mudança no uso do solo no Cerrado, e particularmente na região de Gilbués (Hofmann *et al.*, 2021; Rodrigues de Carvalho *et al.*, 2018), pode estar afetando as variáveis climáticas da Fazenda Boa Vista. O desmatamento, intensificação da agricultura e a mudança climática, que provavelmente esteja tornando o ambiente mais quente e seco ao aumentar a incidência solar, pode alterar o padrão reprodutivo e sobrevivência de plantas e animais, afetando a oferta de recursos explorados pelos macacos-prego, incluindo cocos, invertebrados e frutos (Scarano, 2019; Presotto *et al.*, 2020).

Previsão 1: Haverá um aumento na temperatura e diminuição na umidade e pluviosidade entre 2006 e 2021

Previsão 2: Haverá uma diminuição na oferta de frutos, invertebrados e cocos na FBV entre 2006 e 2021.

H₂. Caso esse cenário seja confirmado, essas alterações podem afetar o comportamento dos macacos (incluindo o orçamento de atividades e dieta) ao terem que lidar com novas limitações nos recursos e novas demandas energéticas associadas à termorregulação (Freitas *et al.*, 2008; Back *et al.*, 2019; Ashbury *et al.*, 2022). Como proposto por Presotto *et al.* (2020) a queda na oferta de cocos provoca uma ameaça para a tradição cultural de uso de ferramentas.

Previsão 3: Esperam-se variações no orçamento de atividades, incluindo um aumento no tempo dedicado a descansar e uma diminuição no tempo dedicado ao deslocamento e comportamentos sociais. O tempo que os macacos passam quebrando cocos usando ferramentas terá diminuído. Também se espera um aumento no consumo de itens provenientes de cultivos, particularmente milho, e uma diminuição no consumo de frutos, invertebrados e cocos.

H₃. Por último, ao longo dos últimos anos podem ter acontecido mudanças no uso dos estratos: por um lado o aumento da temperatura pode levar a um maior uso das árvores por parte dos macacos e, por outro, a exploração de alimentos dos cultivos, assim como a habituação dos macacos aos pesquisadores e moradores da Boa Vista, poderia estar

associado a um incremento no tempo que os primatas passam no solo (Mourthé *et al.*, 2007).

Previsão 4: Haverá um aumento no tempo que os macacos passam no solo ao longo dos últimos anos.

Previsão 5: Haverá um aumento no tempo que os macacos passam nos estratos arbóreos e, portanto, uma diminuição no tempo que passam no solo.

2. MÉTODOS

2.1. A espécie

O gênero *Sapajus*, classificado dentro da família *Cebidae*, inclui oito espécies. Ocorre numa ampla área da América do Sul e na maior parte do Brasil, estando adaptado a biomas muito diferentes, incluindo a Amazônia, Mata Atlântica, Cerrado e Caatinga. Esta capacidade de adaptação a distintos ambientes pode ser devida a sua flexibilidade comportamental (especialmente ao comportamento alimentar e uso de ferramentas) (Fragaszy *et al.* 1990; Fragaszy *et al.*, 2004; Izar *et al.* 2012; Visalberghi *et al.*, 2005).

Sapajus libidinosus ocorre nos biomas Cerrado e Caatinga (Lynch Alfaro *et al.*, 2012), apresenta uma dieta onívora que inclui frutos, folhas, brotos, néctar, invertebrados e em ocasiões pequenos roedores e aves (Verderane, 2010). Vive em grupos sociais coesos em que as fêmeas são filopátricas e mantêm uma hierarquia de dominância linear (Izar *et al.*, 2012; Verderane *et al.*, 2013) (Fig. 7).

Fig. 7. Macacos-prego da Fazenda Boa Vista quebrando cocos usando ferramentas.



Imagem: Acervo de imagens do LEDIS USP.

2.2. Sujeitos

Os sujeitos do estudo pertencem a dois grupos sociais: ZA e CH. Tratam-se de grupos multi-macho multi-fêmea que formam uma hierarquia de dominância linear (Izar et al, 2021). Ambos estão habituados à presença de observadores humanos desde o início da coleta de dados (Izar, 2016; Verderane, 2010; Zago, 2018).

2.3. Coleta de dados

Para medir as variáveis climáticas, a partir do ano de 2006 foi instalada uma estação meteorológica convencional dentro da FBV, sendo registrados desde então dados diários referentes à temperatura máxima e mínima, umidade relativa do ar máxima e mínima e precipitação. Os dados foram coletados manualmente por diversos pesquisadores do projeto EthoCebus (Moreno, 2015).

Para testar a hipótese de diminuição da biomassa de recursos alimentares, desde o ano 2005 foram colocados 100 coletores de frutos fixados aos troncos das árvores, distribuídos ao longo de uma trilha de 3km de extensão na área de uso dos grupos estudados, tendo uma distância mínima de 30m entre cada coletor. Tais coletores são esvaziados a cada quinze dias pelos assistentes de campo Marcos Fonseca de Oliveira e Arizomar da Silva Oliveira, momento em que a biomassa de frutos é pesada. Para estimar a biomassa de invertebrados, desde o ano 2005 é feita uma avaliação da variação mensal da biomassa utilizando o método de armadilhas “pitfall”. Elas foram distribuídas seguindo o mesmo critério dos coletores de frutos, sendo também esvaziadas cada quinze dias, momento em que se pesava a amostra. Por último, para estimar a biomassa de cocos, em cada um dos 100 pontos que apresentam coletores, foram marcadas quatro palmeiras, dentro de uma distância lateral mínima de três metros, e uma máxima de 10 metros, do ponto do coletor. As palmeiras de catulé (*Attalea barreirensis*) e piaçava (*Orbignya sp*), todas adultas foram marcadas e identificadas. Quando não houve palmeiras adultas dentro desses limites de distância, registrou-se a ausência delas. As palmeiras marcadas são monitoradas uma vez por mês, sendo anotados dados sobre ausência ou presença de flor, fruto maduro e fruto seco (Verderane, 2010).

Para investigar mudanças no comportamento dos primatas, foram utilizados dados comportamentais e alimentares dos períodos 2006-2007 da pesquisa de Verderane (2010), e do período 2009-2010, da pesquisa de Mendonça-Furtado (2012), gentilmente cedidos pelas autoras. O método empregado em ambos os casos foi scan de 10 minutos a intervalos de 10 minutos (Altmann, 1974). Seguindo a mesma metodologia, os assistentes de campo do projeto

EthoCebus, M. Fonseca de Oliveira e A. da Silva Oliveira [que também participaram na coleta de dados de Mendonça-Furtado (2012)] coletaram dados desde dezembro de 2015 até a atualidade. As categorias comportamentais foram consideradas seguindo o etograma mostrado na tabela 3 (Verderane, 2010). Os itens alimentares foram classificados seguindo a tabela 4 (Santos, 2015).

Tabela 3. Etograma já usado por Verderane (2010) com pequenas modificações.

Categoria comportamental	Descrição	
Alimentação	Forrageamento	Busca ou manipulação de itens alimentares.
	Comer	Ingestão de itens alimentares.
Locomoção	Deslocamento horizontal ou vertical, pelo chão ou pelas árvores, em postura quadrúpede, bípede, ou por saltos.	
Observação/vigilância	Olhar fixamente para outro(s) membro(s) do grupo, observador(es) ou local, monitorar o ambiente visualmente para procurar ou acompanhar outro(s) membro(s) do grupo ou grupos vizinhos ou indivíduos de outras espécies, monitorar o ambiente visualmente após emissão de vocalização de alarme.	
Descanso	Inatividade, sentado ou deitado, dormindo ou acordado.	
Uso de ferramenta	Utilização de pedras como martelos e bigornas para abrir cocos. Essa categoria engloba as atividades de posicionar o recurso na bigorna e golpeá-lo com um martelo para a extração do alimento.	
Interação social	Afiliativa	Catação, brincadeira, amamentação, aloamentação, lips-making, comportamento sexual e outras interações sociais que possam ser caracterizadas por algum nível de tolerância entre indivíduos.
	Agonística	Ameaça, agressão.
Outros	Todas as atividades que não se enquadram nas descritas acima. Ex. Autocatação, brincadeira solitária	

Tabela 4. Os itens alimentares foram classificados segundo essas categorias

Categoria	Itens
Polpa de fruto	Buriti (<i>Mauritia flexuosa</i>), cajú (<i>Anacardium spp.</i>), candurú (<i>Brosimum conduru</i>), carrapeta (<i>Guarea spp.</i>), croatá (<i>Bromeliaceae</i>), fruta d'anta (não identificado), goiaba (<i>Psidium guajava</i>), grão de galo (<i>Celtis iguanaea</i>), jenipapo (não identificado), manga (<i>Mangifera spp.</i>), maracujá (<i>Passiflora edulis</i>), melastro (não identificado), murici (<i>Byrsonima verbascifolia</i>), pau d'oio (<i>Copaifera spp</i>), pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>), ipê amarelo (<i>Tabebuia ochracea</i>), olho de boi (<i>Diospyros hispida</i>), melãozinho (não identificado), pindaibinha (não identificado).
Folha	Bromélia (<i>Bromeliaceae</i>), capim (<i>Gramineae</i>), croatá (<i>Bromeliaceae</i>), ananás-de-raposa (<i>Bromeliaceae</i>), macambira (<i>Bromelia laciniosa</i>), embaúba (<i>Cecropia spp</i>), japicanga (<i>Smilax japicanga</i>), macumbira (<i>Bromelia laciniosa</i>), palmito (<i>Euterpe edulis</i>)
Cocos	Piaçava (seca) (<i>Obignya spp</i>), tucum (<i>Astrocarum huaimi</i>), catulé (<i>Attalea barreirensis</i>), dendê (<i>Elaeis guineensis</i>)
Semente	Castanha de caju (<i>Anacardium spp.</i>), caroba (<i>Jacaranda caroba</i>), jatobá (<i>Hymenaea sp</i>), jurema (<i>Mimosa tenuiflora</i>), embaúba (<i>Cecropia spp</i>), mata-fome (<i>Pithecellobium dulce</i>), pindaíba (não identificado), sapucaia (<i>Lecythis pisonis</i>), pau-de-terra (<i>Qualea grandiflora</i>)
Invertebrado	Formiga (Larva <i>Hymenoptera</i>), grilo (<i>Gryllinae</i>), gafanhoto (<i>Orthoptera</i>), vespa (<i>Hymenoptera</i>), marimbondo de chapéu (<i>Apoica pallida</i>), besouro (<i>Coleoptera</i>), aranha (<i>Arachnida</i>), cupim (<i>Isoptera</i>), gongo (não identificado), lagarta de fogo (<i>Megalopyge lanata</i>)
Vertebrado	Rato, sapo, pássaro, calando de serra, cobra, iguana, lagartixa, lagarto
Itens de cultivos	Milho que os macacos coletaram na roça, arroz, mandioca
Alim. provisionados	Milho/banana/coco provisionado pelos assistentes de campo para facilitar o seguimento do grupo e a coleta de dados
Flor	Sapucaia (<i>Lecythis pisonis</i>), puçá (<i>Mouriri pusa</i>), ipê amarelo (<i>Tabebuia ochracea</i>), orquídea, boato (não identificado), faveira (<i>Parkia paraensis</i>), pequi (<i>Caryocar brasiliense</i>), sucupira roxa (<i>Bowdichia virgilioides</i>), ananás de raposa (<i>Bromeliaceae</i>)
Raíz	Raíz de macaco, batatona (não identificada), cava, faveira

Para testar a quinta e a sexta hipóteses, foram usados dados coletados por Verderane (2010), que analisou a escolha de estratos considerando a proporção de amostras de varredura dedicada a utilização de estratos arbóreos (a partir de 0,5 metros), solo (substratos planos no solo das chapadas, brejos, grotas e solo rochoso das encostas e topos) e cavernas. Os resultados da pesquisa de Verderane (2010) foram comparados com dados coletados desde 2015 até a atualidade usando o mesmo método: scans de 10 min a intervalos de 10 min. Porém apenas foram considerados o estrato arbóreo e o solo.

2.4. Análises estatísticas

Para analisar a evolução de cada variável climática e de biomassa foram criadas séries temporais, substituindo os dados diários faltantes a partir das médias mensais (Egigu, M. L., 2020). A seguir, com o objetivo de detectar possíveis tendências, foi usado o teste de Mann-Kendall através do Software R 4.1.2 (Lacombe *et al.*, 2012; Salvador & de Brito, 2018), analisando separadamente cada série temporal (Temperatura máxima, temperatura mínima, umidade máxima, umidade mínima e precipitação). O teste de Mann-Kendall é um método robusto, sequencial e não paramétrico, utilizado para determinar se uma série de dados possui uma tendência temporal de alteração estatisticamente significativa. Para as variáveis em que não foi encontrada uma tendência significativa, analisaram-se separadamente as estações secas e as estações chuvosas.

Utilizando o modelo de Média móvel integrada autorregressiva (ARIMA), uma análise estatística que usa dados de série temporal para prever tendências futuras, (Lai & Dzombak, 2020) foram feitas previsões de cada variável climática até o ano 2030, também no software R.

Também foram feitas análises de correlação, usando o coeficiente de correlação de Spearman, entre as variáveis climáticas e de biomassa estimada de frutos, invertebrados e cocos.

No caso das variáveis comportamentais e alimentares foram usados os dados brutos de cada período (primeiro período: 2006-2007; segundo período: 2009-2010; terceiro período: 2015-2020 nos dados comportamentais e 2015-2018 nos alimentares), sendo os dois primeiros cedidos por Verderane (2010) e Mendonça-Furtado (2012) respectivamente. Houve uma diferença muito grande no volume de dados entre os períodos e entre os meses, o que poderia fazer com que comportamentos mais raros não aparecessem nos meses com menos horas de

amostragem. Com o objetivo de evitar esses possíveis vieses foram selecionados aleatoriamente 300 dados comportamentais e 150 dados alimentares de cada mês. Para procurar diferenças entre os períodos comparamos as médias de cada comportamento usando o teste de Kruskal-Wallis através do Software R 4.1.2 (Ramírez-García *et al.*, 2022; Rose *et al.*, 2022). De novo, com o objetivo de detectar tendências, transformamos os dados de cada variável em séries temporais, aplicando em seguida um teste Mann-Kendall. Por último foram investigadas correlações entre as variáveis comportamentais e alimentares e as variáveis climáticas e de biomassa de frutos, cocos e invertebrados.

Para verificar se houve mudanças no uso do estrato, dados dos anos 2006-2007 fornecidos por Verderane (2010) foram comparados com dados dos anos 2015-2020, analisando a proporção de tempo que os macacos passam no solo ou nos estratos arbóreos nas diferentes estações e períodos do dia (manhã: 6:00 a 10:00h; meio do dia: 10:01 às 14:00h; e tarde: 14:01 às 18h). Após ponderar os dados mensais das duas épocas, foi realizado um teste de Kruskal-Wallis. Também foi criada uma série temporal para procurar tendências através do teste de Mann-Kendall.

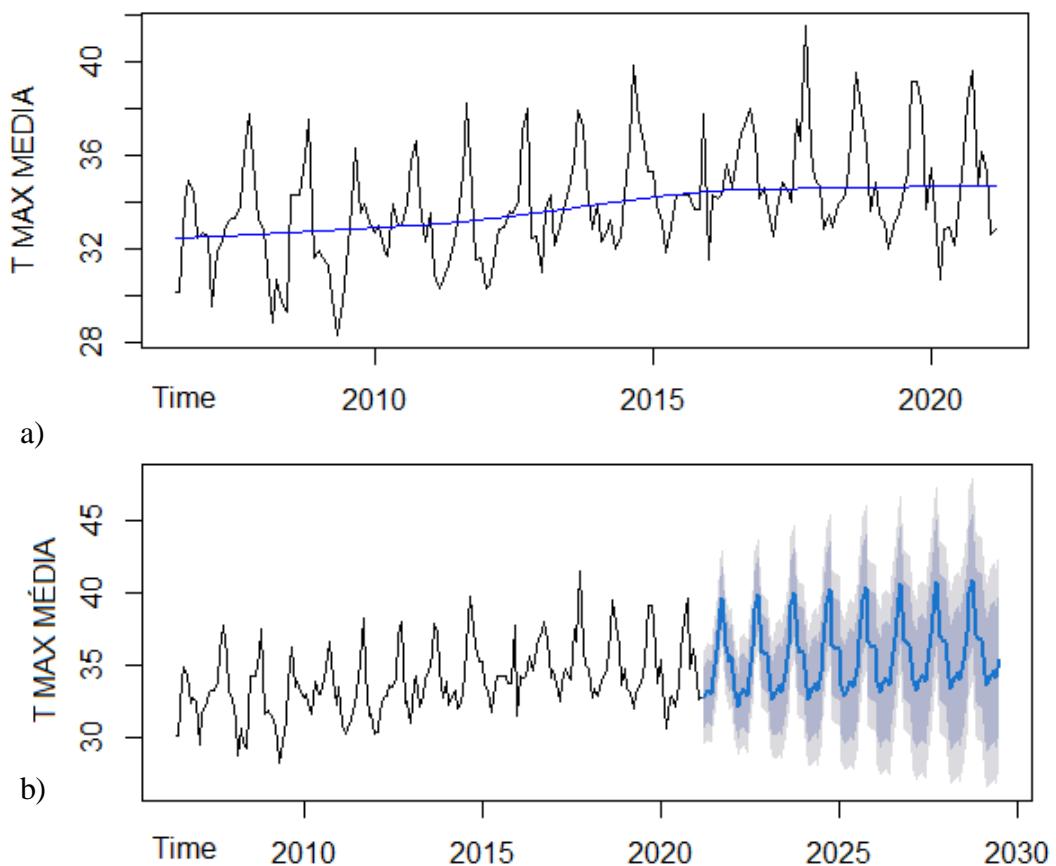
3.RESULTADOS

3.1. Clima

A temperatura máxima (Tmax) média nas estações secas desde junho de 2006 até março de 2021 foi de $34,3 \pm 2,8$ °C e a temperatura mínima (Tmin) média foi $20,1 \pm 2,4$ °C. Já nas estações chuvosas a Tmax média foi $33,7 \pm 3,22$ °C e a Tmin foi $22,2 \pm 1,7$ °C. A umidade máxima relativa (Umax) média nas estações secas foi de 74,1% e nas estações chuvosas foi de 87,2%. A umidade mínima relativa (Umin) média nas estações secas foi de 31% e nas estações chuvosas foi de 46,1%. A precipitação anual média foi de $1040,8 \pm 12,82$ mm.

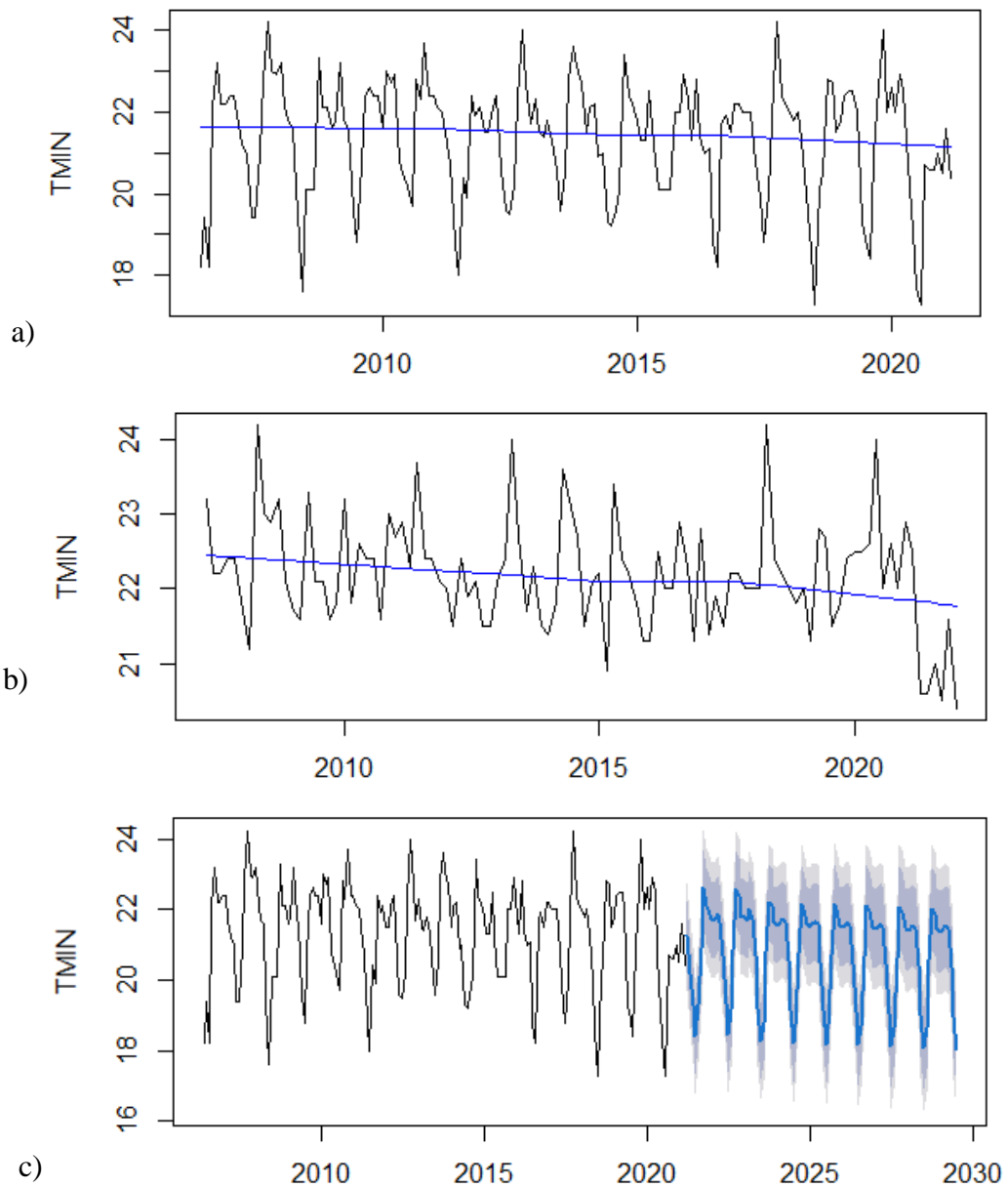
No caso da temperatura máxima foi encontrada uma tendência crescente significativa (Mann-Kendall trend test, $p=0,01$), sendo mais intenso a partir do ano 2013. Além disso, a previsão mostrou um aumento anual de aproximadamente $0,2$ °C nos próximos anos (Fig. 8).

Fig. 8. a) Temperatura máxima média (°C) na FBV durante o período amostrado, desde junho de 2006 até março de 2021. b) Temperatura máxima média a partir de dados coletados na FBV (em preto) e previsão até o ano 2030 (em azul)



No caso da temperatura mínima, quando foi analisada usando os dados de todos os meses, não foi encontrada uma tendência significativa ($p=0,1$). Porém, quando os meses das estações chuvosas foram analisados separadamente a análise mostrou uma tendência decrescente ($p=0,03$). A análise ARIMA também não mostrou uma tendência de aumento ou diminuição (Fig. 9).

Fig. 9. a) Evolução da temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021. b) Evolução da temperatura mínima ($^{\circ}\text{C}$) na FBV durante as estações chuvosas desde julho de 2006 até março de 2021. c) Temperatura mínima média ($^{\circ}\text{C}$) a partir de dados coletados na FBV (em preto) e previsão até o ano 2030 (em azul).



A análise da Umidade máxima não mostrou nenhuma tendência significativa (Fig. 10). Já na umidade mínima, o teste de Mann-Kendall mostrou uma tendência decrescente ($p = 0.03$), sendo que o ARIMA prevê uma diminuição anual média da umidade relativa de 0,4% nos próximos anos (Fig. 11).

Fig. 10. Evolução da umidade máxima relativa (%) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021.

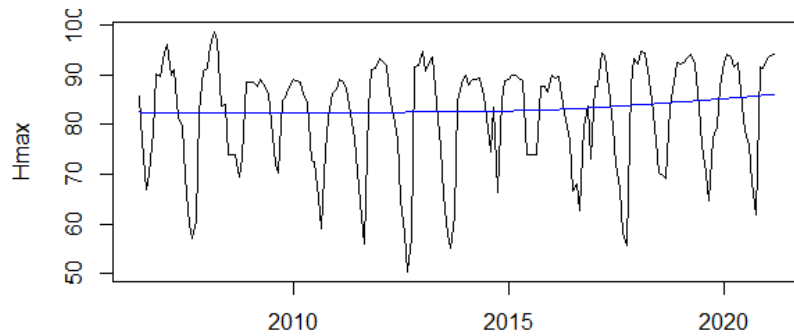
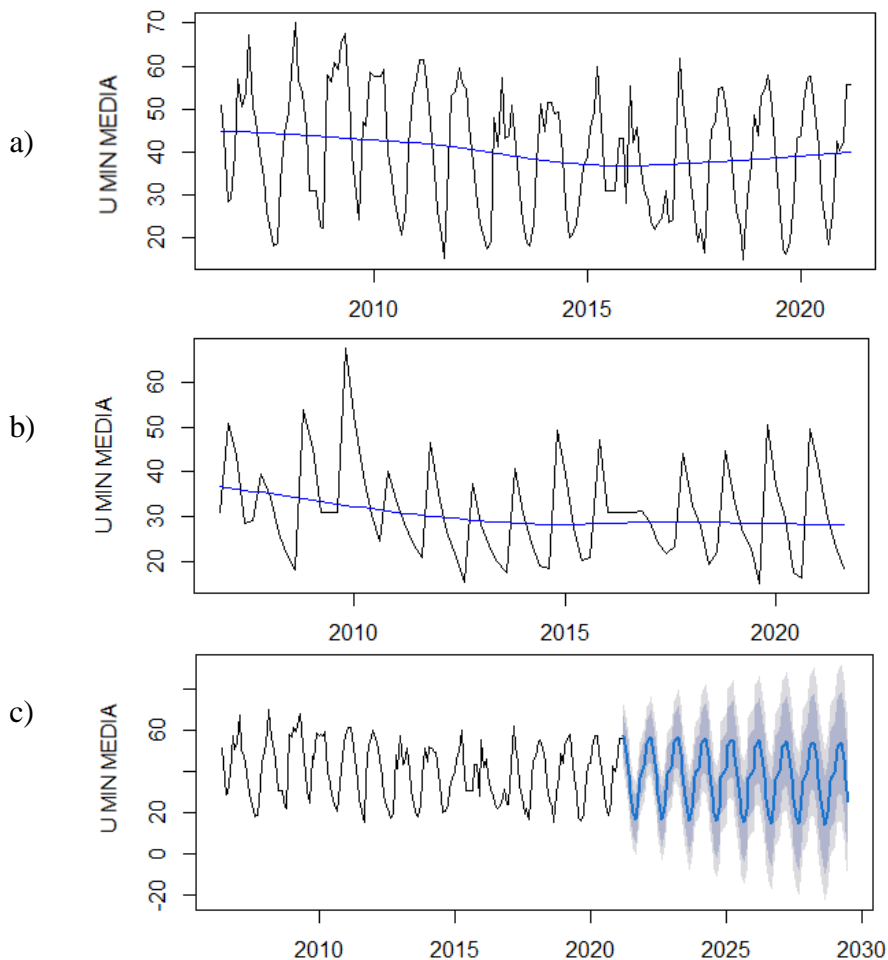
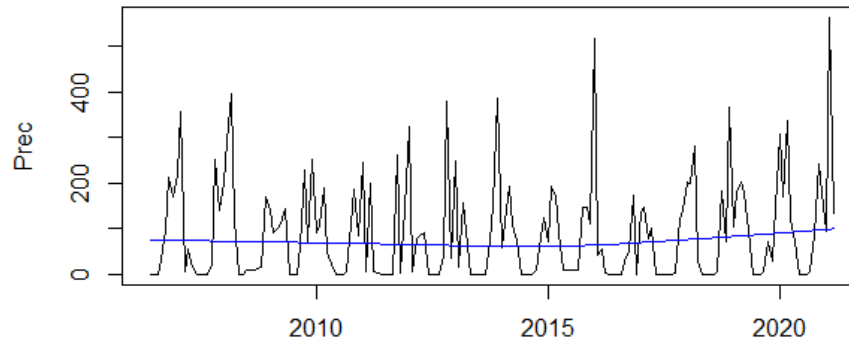


Fig. 11. a) Evolução da umidade mínima relativa (%) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021. b) Evolução da umidade mínima relativa na FBV durante as estações secas desde julho de 2006 até março de 2021. c) Umidade mínima relativa média a partir de dados coletados na FBV (em preto) e previsão até o ano 2030 (em azul).



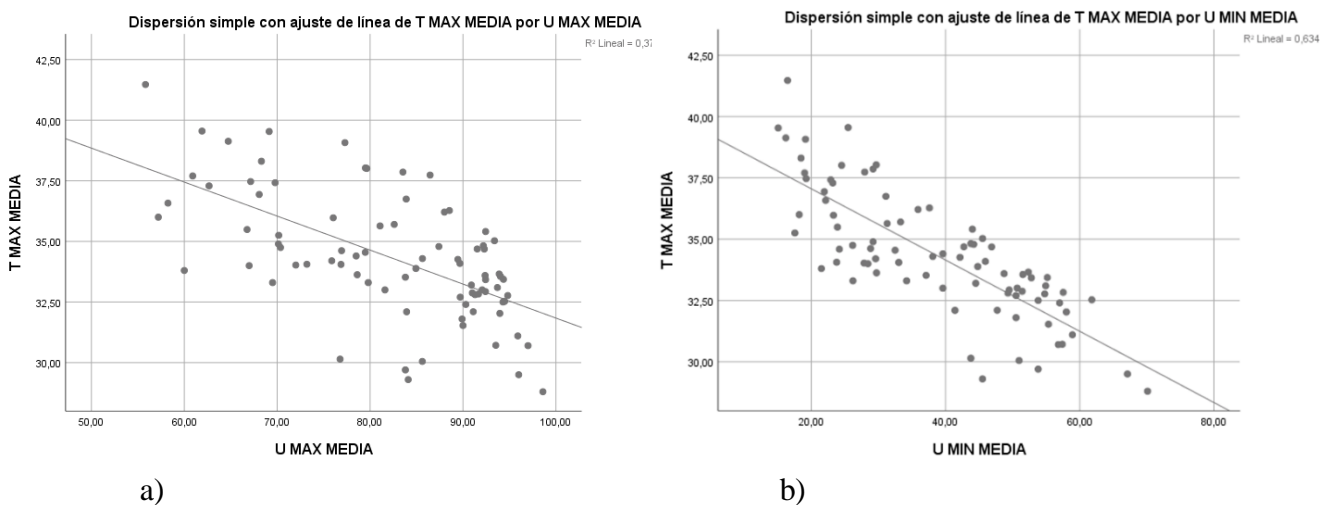
Como apontado acima, a precipitação na FBV tem uma sazonalidade muito marcada. Não encontramos nenhuma tendência significativa nas precipitações médias mensais (Fig. 12).

Fig. 12. Evolução das precipitações (mm) na FBV desde julho de 2006 até março de 2021.



Houve correlação negativa entre a temperatura máxima e a umidade máxima ($r: -0,616$ $p: ,000$) e mínima ($r: -0,796$ $p: ,000$) (Fig. 13). A umidade máxima e mínima foram correlacionadas positivamente com a precipitação ($r: 0,623$ $p: ,000$ e $r: 0,621$ $p: ,000$, respectivamente).

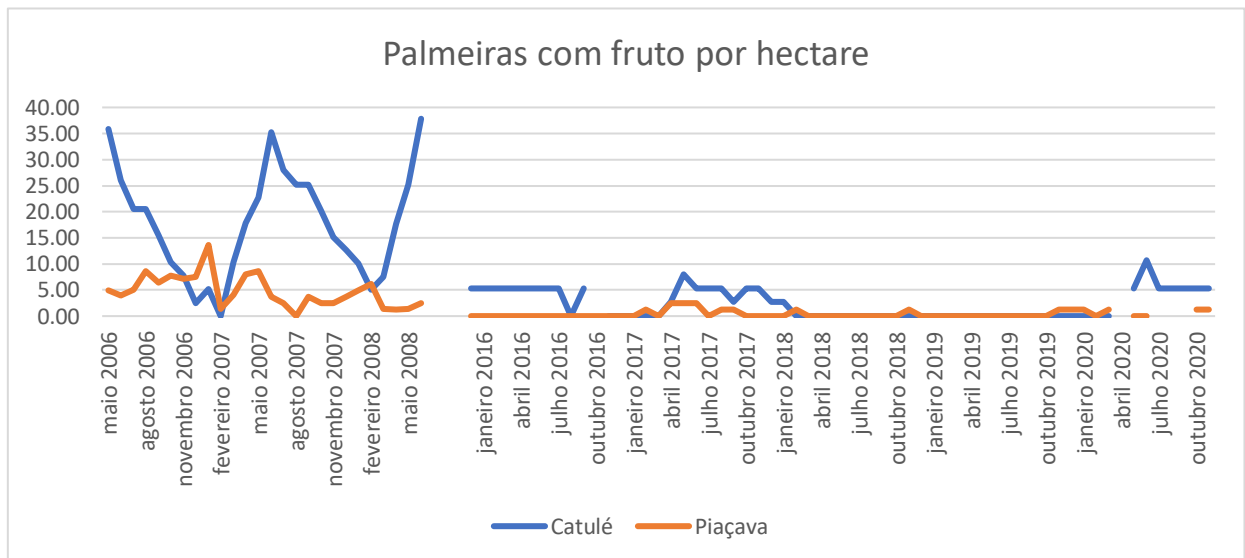
Fig. 13. Temperatura máxima média ($^{\circ}\text{C}$) em relação à (a) umidade máxima relativa (%) e (b) umidade mínima relativa (%).



3.2. Biomassa de palmeiras, frutos e invertebrados

No caso das palmeiras catulé e piaçava, dados do período de maio de 2006 a junho de 2008, foram comparados com dados do período 2016-2020. Encontramos uma queda significativa no número de palmeiras com fruto por hectare (Fig. 14). A média de palmeiras com fruto nas estações secas no período 2006-2008 foi 30,74 e nas estações chuvosas foi 15,30. Já no período 2016-2020 foi 3,51 nas secas e 2,00 nas chuvosas, o que mostra uma diminuição entre ambos períodos de 88,58% e 86,93% respectivamente (tabela 6).

Fig. 14. Número de palmeiras com fruto por hectare na FBV nos períodos 2006-2008 e 2016-2020.



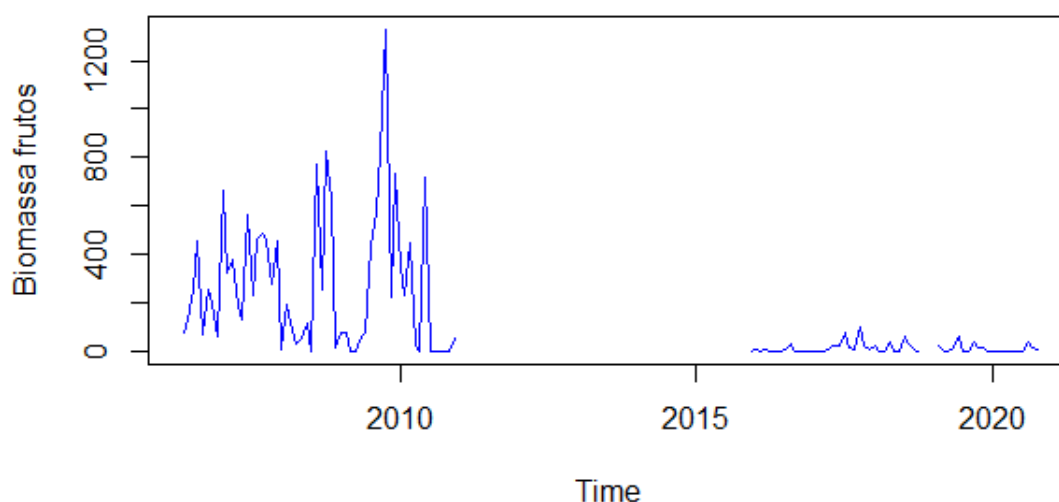
Com o objetivo de comparar as médias entre os dois períodos, usamos o teste de Kruskal-Wallis e achamos diferenças significativas ($X^2=51.438$, $p < 0,000$). O teste Mann-Kendall mostrou uma tendência decrescente no número de palmeiras com fruto ($\tau = -0.508$, $p < 0,000$).

Observamos uma diminuição significativa na quantidade de frutos coletados (Fig. 15). A média de biomassa (kg/ha) de frutos nas estações secas foi de 268,5 no período 2006-2010 e 16,93 no período 2016-2020. Nas estações chuvosas a média foi de 276,7 no período

2006-2010 e 8,00 no período 2016-2020. Isso supõe uma diminuição entre ambos períodos de 93,7% e 97,1% respectivamente (tabela 7).

Como no caso anterior, foi realizado um teste Kruskal-Wallis que revelou diferenças significativas entre os dois períodos ($X^2=40.368$, $p<0,000$). O teste de Mann-Kendall mostrou uma tendência decrescente significativa ($\text{tau} = -0.417$, $p<0,000$).

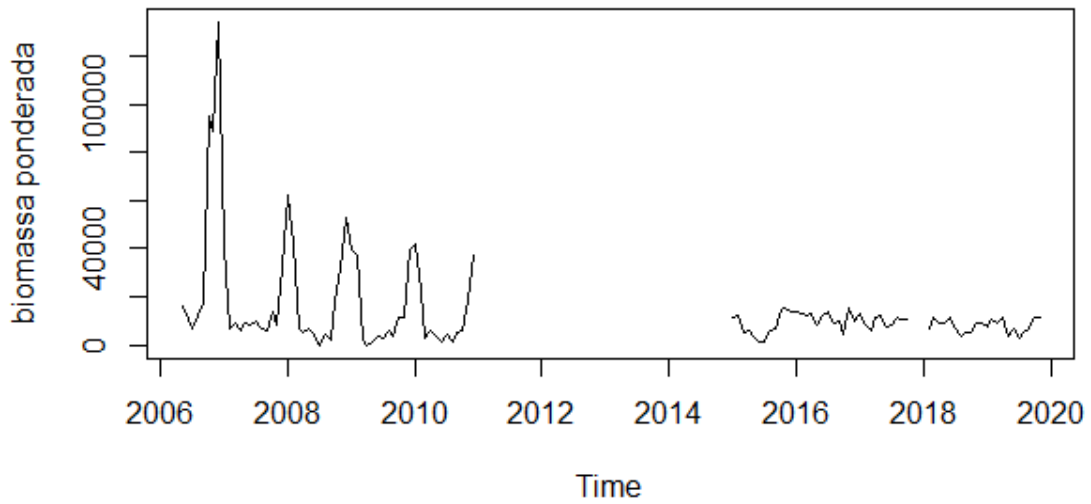
Fig. 15. Biomassa de frutos (kg/ha) estimada na FBV nos períodos 2006-2010 e 2016-2020.



No caso dos invertebrado, do período maio-2006 a dezembro-2010, foram comparados com dados do período 2016-2020. Acharos uma queda significativa no volume de invertebrados (kg/ha) coletados ao longo do período de estudo (Fig. 16). Essa queda ocorreu nas estações chuvosas, onde a média foi de 30026,12 kg/ha no período 2006-2010 e 10434,3 kg/ha no período 2016-2020, o que supõe uma diminuição entre os períodos de 65,25%. Porém a biomassa aumentou 17,66% nas estações secas entre os dois períodos, havendo uma biomassa de 6306,3 kg/ha no primeiro e de 7420,27 kg/ha no segundo (tabela 8).

O teste de Kruskal-Wallis mostrou uma diferença significativa entre os dois períodos ($X^2=4.4518$, $p = 0.03$). Usando o teste de Mann-Kendall, foi encontrada uma tendência decrescente significativa ao longo das estações chuvosas ($\text{tau} = -0.26$, $p=0.002$)

Fig. 16. Biomassa de invertebrados (kg/ha) estimada na FBV nos períodos 2006-2010 e 2016-2020



O número de palmeiras com fruto por hectare (piaçava e catulé) foi negativamente correlacionado com a temperatura máxima ($r: -0,353$ $p: 0,001$) (Fig. 17). A biomassa de catulé e de piaçava foram positivamente correlacionadas entre elas ($r: 0,455$ $p: 0,000$). Não houve correlação significativa entre a biomassa de frutos e as variáveis climáticas. Já no caso da biomassa de invertebrados houve correlação positiva fraca com a temperatura mínima ($r: 0,274$ $p: 0,004$), a umidade máxima ($r: 0,225$ $p: 0,021$) e mínima ($r: 0,248$ $p: 0,01$) a precipitação ($r: 0,264$ $p: 0,006$) (Fig. 18).

Fig. 17. Correlação negativa entre o número de palmeiras com fruto/há e a temperatura m($r: -0,353$ $p: 0,001$).

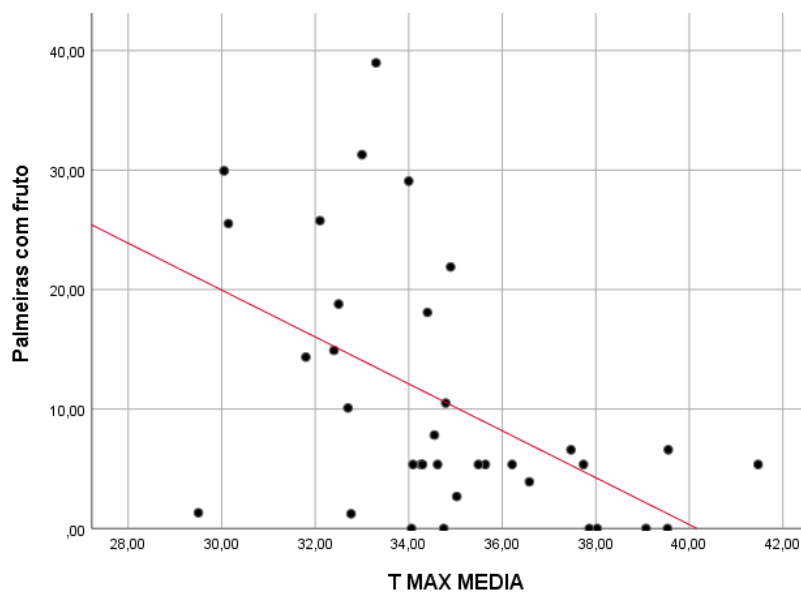
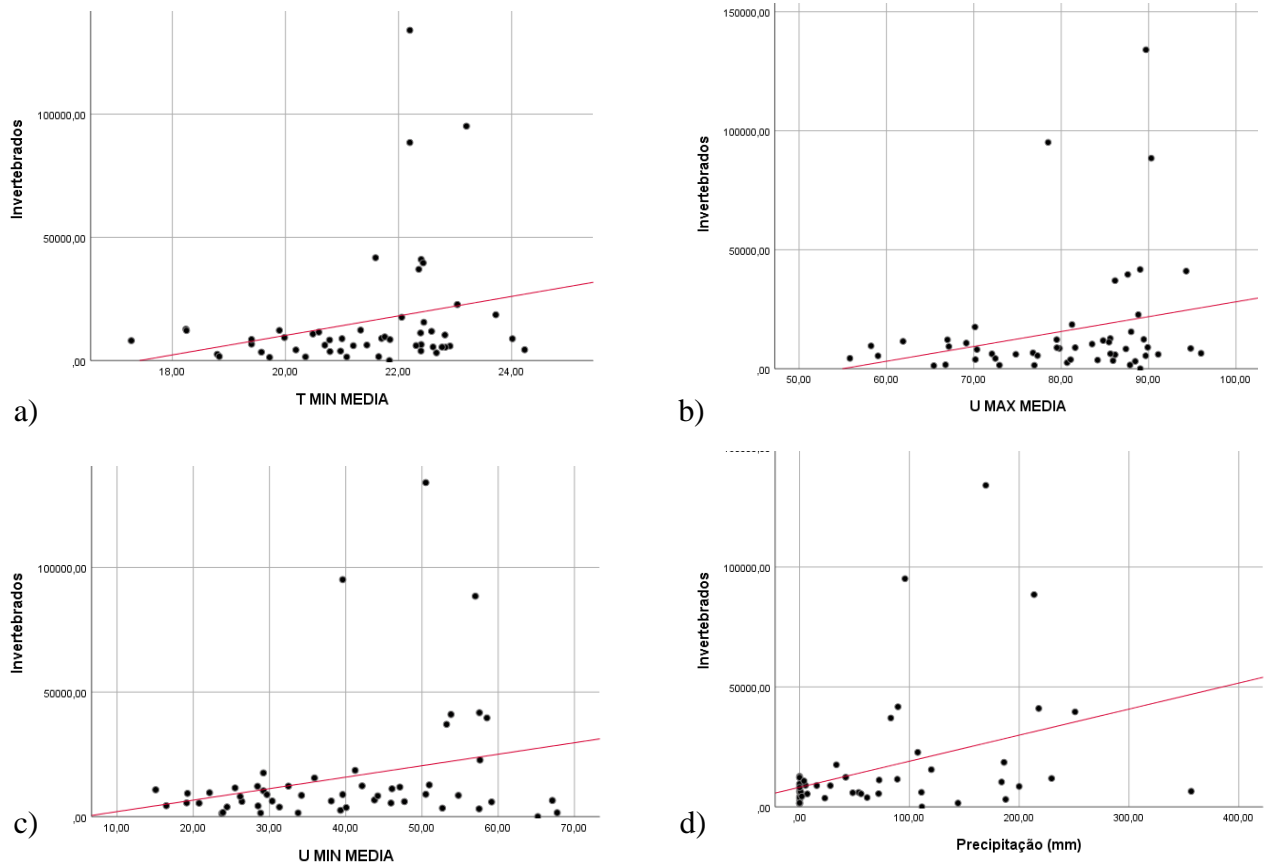


Fig. 18. A biomassa de invertebrados foi positivamente correlacionada com a) a Temperatura mínima, b) a umidade máxima, c) a umidade mínima e d) a precipitação

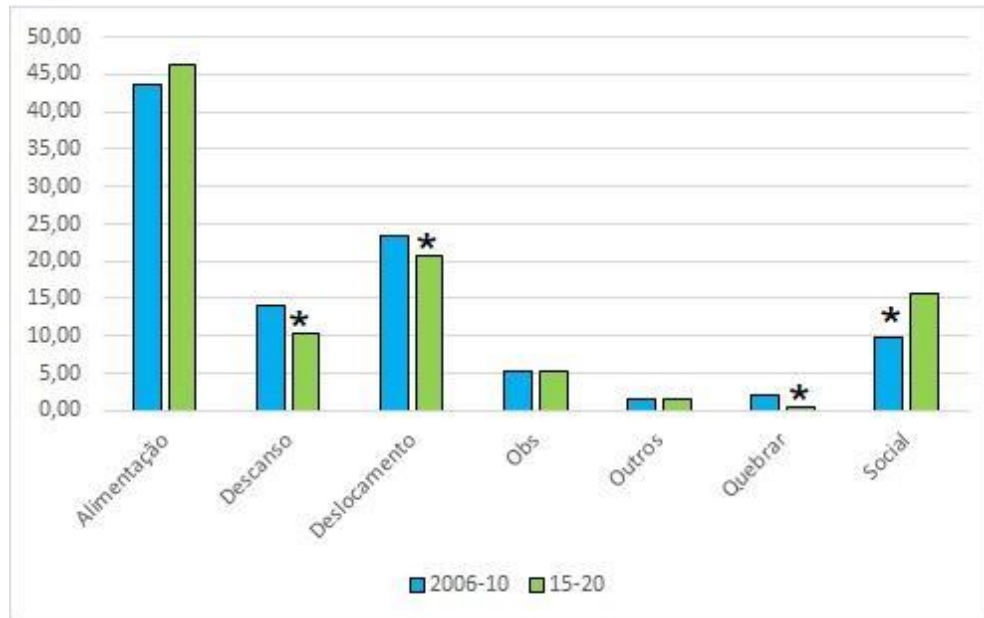


3.3. Orçamento de atividades

No primeiro bloco, que envolveu os dados coletados entre os anos 2006 e 2010 os macacos-prego da FBV dedicaram $43,78 \pm 2,08$ % do tempo a se alimentar, $23,42 \pm 1,68$ % a se deslocar, $5,39 \pm 1,93$ % a observar/vigilar, $9,77 \pm 1,4$ % a atividades sociais, $14,04 \pm 2,782$ % a descansar, $2,05 \pm 0,63$ % a quebrar cocos usando ferramentas e $1,56 \pm 0,4$ % a outros comportamentos (Fig. 19).

No período 2015-20 os macacos-prego da FBV dedicaram $46,21 \pm 2,42$ % do tempo a se alimentar, $20,69 \pm 2,09$ % a se deslocar, $5,17 \pm 1,45$ % a observar/vigiar, $15,74$ $1,96$ % a atividades sociais, $10,25 \pm 2,15$ % a descansar, $0,50 \pm 0,45$ % a quebrar cocos usando ferramentas e $1,43 \pm 0,43$ % a outros comportamentos (Fig 19).

Fig. 19. Porcentagem de tempo que os macacos-prego da Fazenda Boa Vista dedicam a cada comportamento.

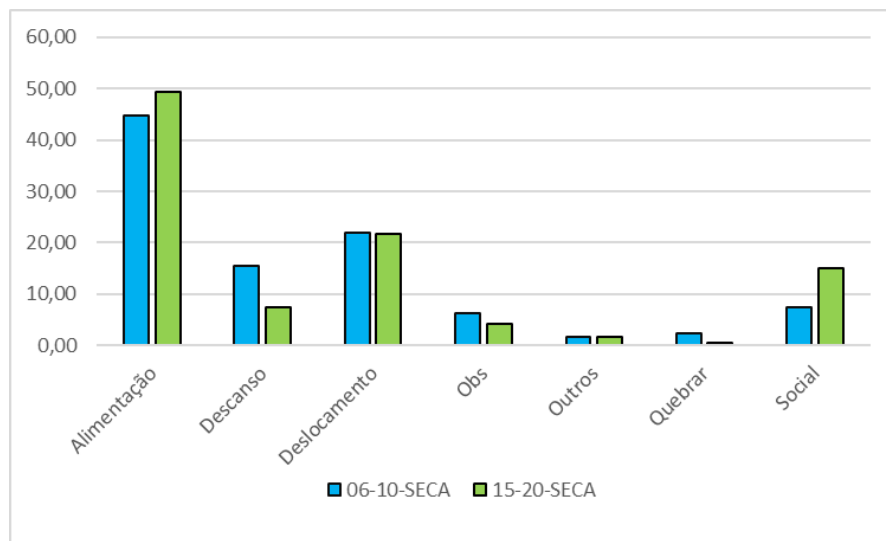


Em alguns casos as percentagens variaram entre estações (Tabela 9, fig. 20)

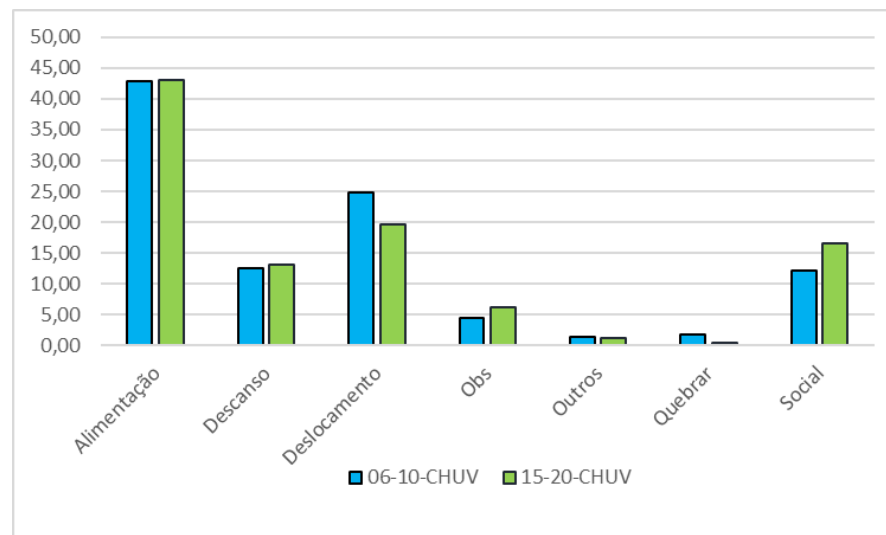
Tabela 5. Porcentagem de tempo dedicado a cada comportamento nas estações secas e chuvosas de cada período de estudo.

Período	Alimentação	Descanso	Deslocamento	Obs	Outros	Quebrar	Social
06-10-CHUV	42,81	12,55	24,89	4,51	1,38	1,72	12,14
06-10-SECA	44,75	15,53	21,96	6,26	1,73	2,37	7,39
15-20-CHUV	43,07	13,04	19,61	6,16	1,24	0,39	16,49
15-20-SECA	49,36	7,46	21,76	4,19	1,63	0,61	15,00

Fig. 20. Orçamento de atividades dos macacos-prego da FBV nas estações secas (a) e chuvosas (b)



a)

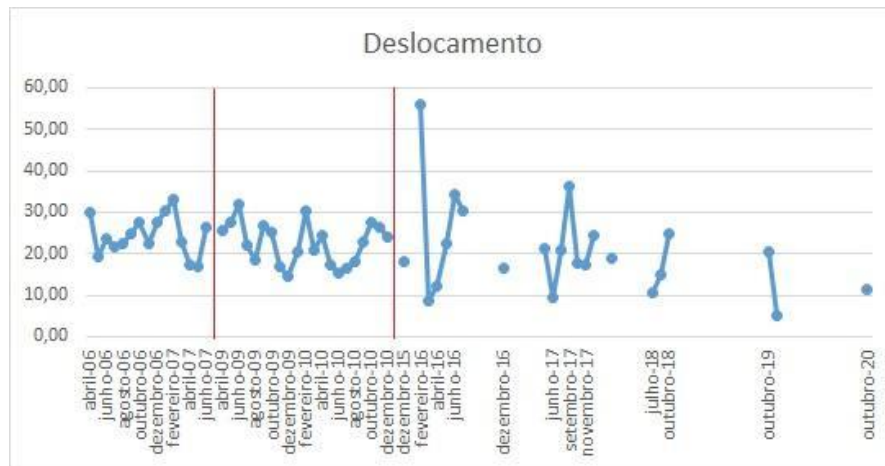


b)

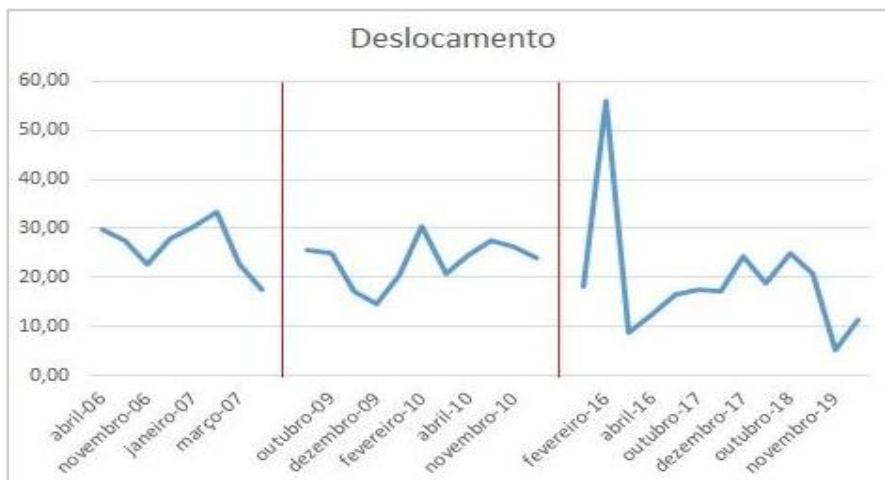
Encontramos diferenças significativas no tempo médio dedicado ao descanso entre os dois blocos de coleta de dados (2006-10 e 2015-20) ($X^2 = 3.9486$, $p = 0.04$).

No caso do deslocamento houve diferenças significativas entre os dois blocos ($X^2 = 4.407$, $p\text{-value} = 0.035$). O teste de Mann-Kendall também mostrou uma tendência decrescente significativa ($\tau = -0.238$, $p = 0.008$). Esses resultados indicam que os macacos estão gradualmente dedicando menos tempo a se deslocar (Fig. 21a), tendência que parece ser mais intensa nas épocas chuvosas (Fig. 21b).

Fig. 21. Porcentagem de tempo dedicado pelos macacos-prego da FBV a se locomover (a) nos períodos 2006-07, 2009-10 e 2015-20 e (b) durante as estações chuvosas dos mesmos períodos. As linhas vermelhas indicam a separação entre cada período de coleta dos dados.



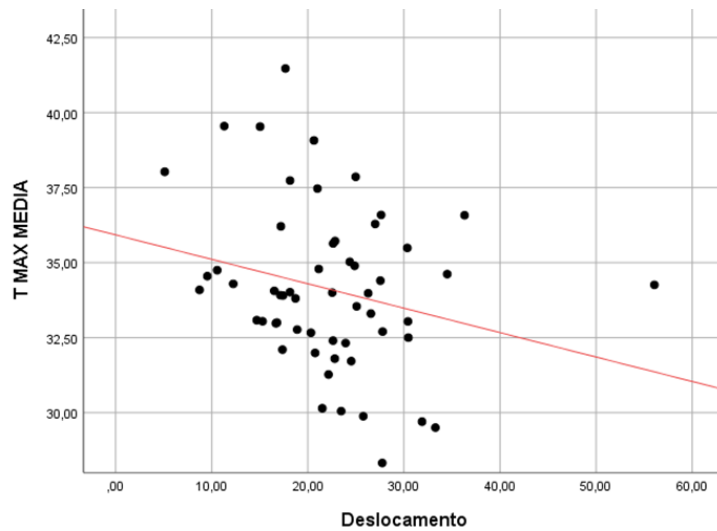
a)



b)

Encontramos uma correlação negativa fraca entre o tempo dedicado a se deslocar e a temperatura máxima média ($r: -0,181$ $p: 0,04$) (Fig. 22)

Fig. 22. Correlação negativa entre a Tmax média da FBV e o tempo dedicado pelos macacos-prego a se deslocar.



No comportamento social encontramos diferenças significativas entre os dois períodos, ($X^2 = 5.0335$, $p = 0.024$). O teste de Mann Kendall mostrou uma leve tendência crescente ($\tau = 0.198$, $p = 0.028267$) (Fig. 23).

O tempo dedicado a comportamentos sociais foi positivamente correlacionado com a temperatura mínima média ($r: 0,284$ $p:0,034$) (Fig. 24) e com o tempo dedicado a se alimentar ($r: -0.350$ $p: 0,007$) e deslocar ($r: -0,293$ $p: 0,025$).

Fig. 23. Tempo (%) que os macacos-prego da FBV dedicaram a comportamentos sociais desde abril de 2006 até outubro de 2020.

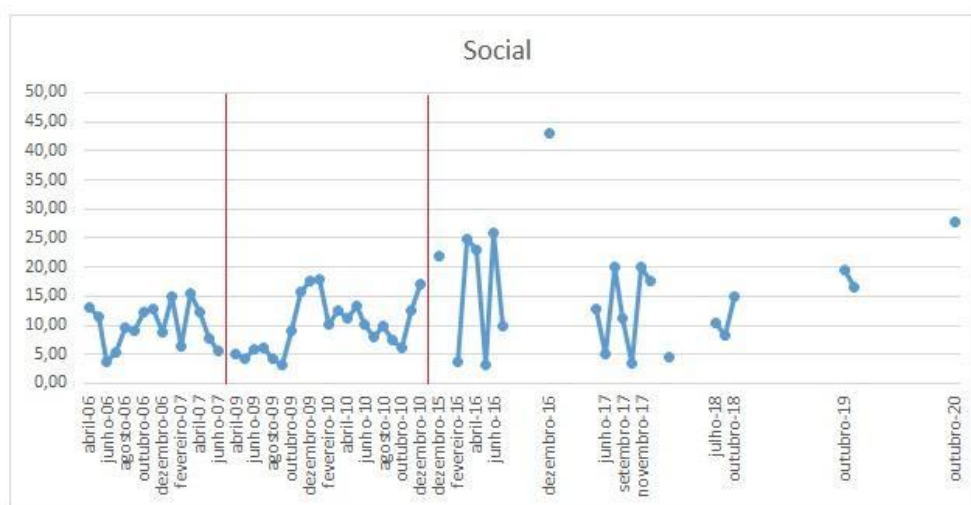
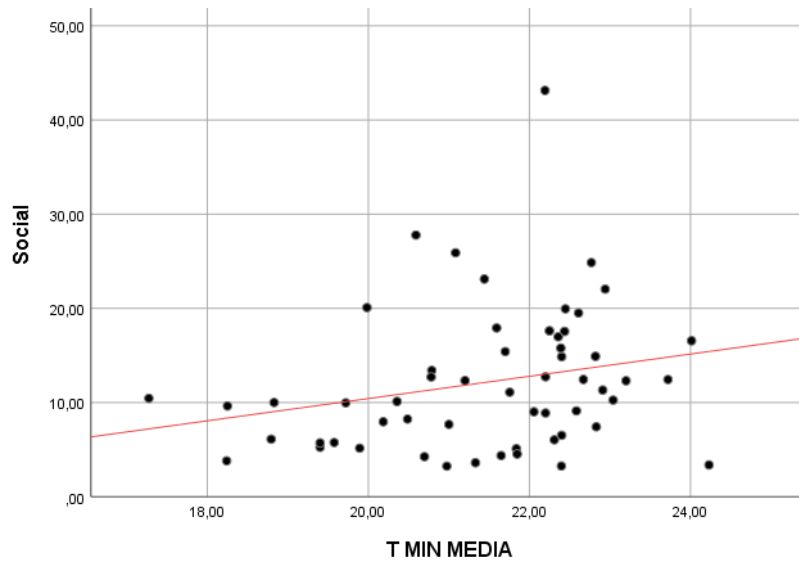


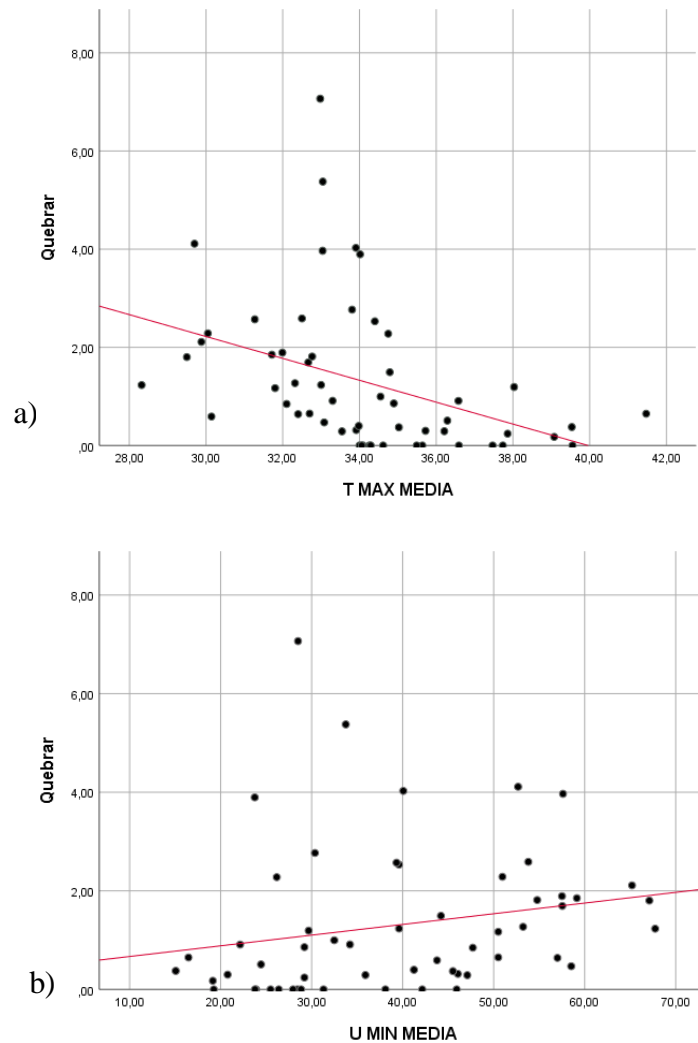
Fig. 24. Correlação positiva entre a temperatura mínima média da FBV e o tempo dedicado pelos macacos-prego a comportamentos sociais



Por último, foram encontradas diferenças significativas no tempo dedicado a quebrar cocos com ferramentas entre o primeiro e segundo período ($X^2 = 16.85$, $p = 0.027$). Os macacos passaram menos tempo quebrando no período 2015-20 do que nos anos 2006-2010. Além disso, os resultados mostraram uma tendência decrescente significativa ($\tau = -0.27$, $p = 0.003$) que fica mais evidente nas estações chuvosas (Fig. 25).

O tempo dedicado a quebrar cocos usando ferramentas foi positivamente correlacionado à biomassa estimada de cocos ($r: 0,471$ $p: 0,004$) (Fig. 26), à umidade mínima ($r: 0,404$ $p: 0,002$) e negativamente correlacionado à temperatura máxima média (rho de spearman: $-0,577$ $p: 0,000$) (Fig. 27). Ao realizamos uma análise de regressão múltipla incluindo a temperatura máxima e as palmeiras com fruto por hectare, encontramos que a equação com maior R^2 é a que inclui ambas variáveis ($R^2: 0.193$; $p: 0.004$). No entanto, apenas a temperatura máxima explica a variação na proporção de scans dedicados à quebra ($\beta = 0.399$; $p = 0.039$).

Fig. 27. O tempo que dedicam os macacos-prego da FVB a quebrar cocos usando ferramentas foi (a) negativamente correlacionado à Temperatura máxima média e (b) positivamente correlacionado a umidade mínima média.



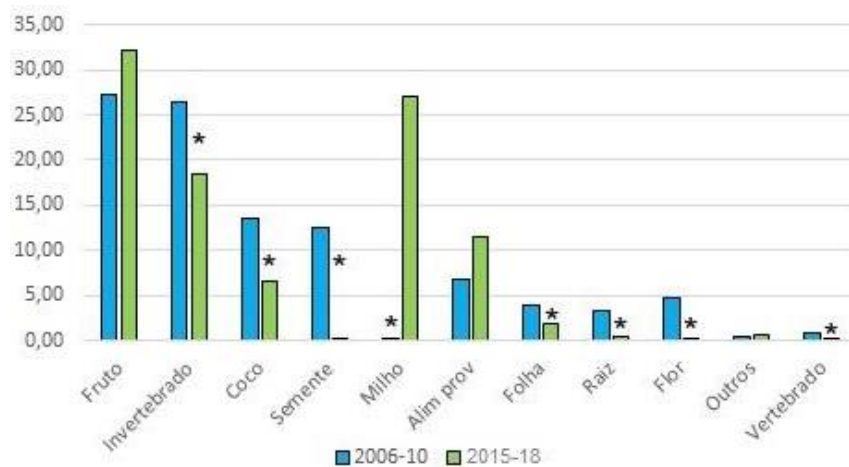
3.4. Comportamento alimentar

Os macacos-prego da Fazenda Boa Vista se alimentaram principalmente de polpa de frutos ($31,14 \pm 9,38\%$ sem incluir cocos), invertebrados ($23,68 \pm 4,56\%$), cocos ($11,20 \pm 4,07\%$), alimentos provisionados, que incluem milho, banana e cocos ($10,11 \pm 1,17\%$), sementes ($8,26 \pm 6,19\%$ sem incluir cocos), alimentos de cultivos, principalmente milho ($5,64 \pm 5,11\%$) folhas ($3,31 \pm 1,53\%$), flores ($3,08 \pm 3,46\%$), raízes ($2,45 \pm 2,31\%$), outros ($0,59 \pm 0,37\%$) e vertebrados ($0,54 \pm 0,53\%$). Essas porcentagens variaram entre períodos e estações (tabela 10, fig. 28)

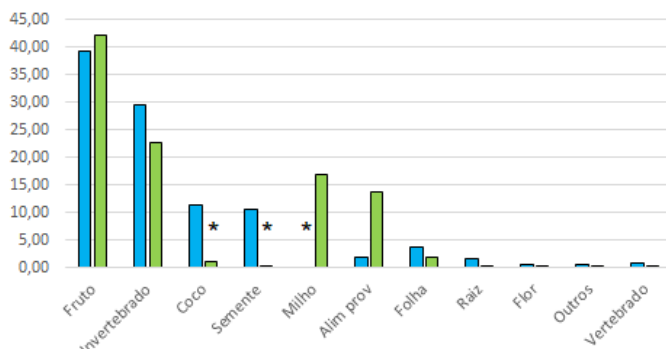
Tabela 6. Porcentagem de tempo que os macacos dedicaram a se alimentar de cada tipo de alimento nas estações secas (amarelo) e chuvosas (verde) de cada período.

Período	Fruto	Invertebrado	Coco	Semente	Milho	Alim prov	Folha	Raiz	Flor	Outros	Vertebrado
Chuv-06-10	39,37	29,54	11,45	10,57	0,00	1,96	3,69	1,52	0,49	0,69	0,73
Seca-06-10	15,31	23,15	15,49	14,68	0,03	11,79	4,37	5,09	9,01	0,20	0,89
Chuv-15-18	42,25	22,61	1,19	0,12	16,88	13,77	1,96	0,44	0,36	0,34	0,09
Seca-15-18	22,08	14,37	12,09	0,43	37,14	9,43	1,82	0,63	0,00	0,96	0,00

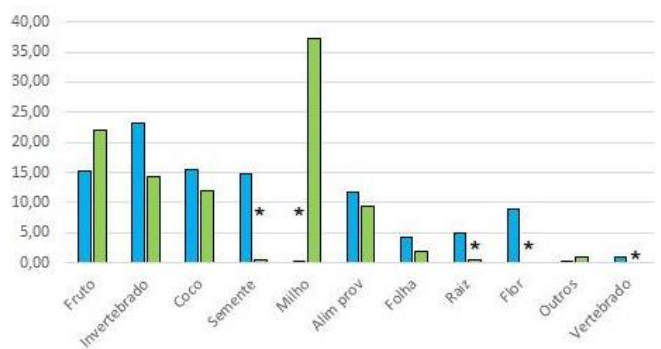
Fig. 28. Porcentagem de tempo que os macacos dedicaram a se alimentar de cada tipo de alimento nos períodos 2006-2010 e 2015-2018 (a), nas estações chuvosas (a) e secas (c) de cada período.



a)



b)



c)

Encontramos diferenças significativas no tempo que os macacos dedicaram a se alimentar de invertebrados entre o primeiro e o segundo bloco ($X^2 = 4.6284$, $p = 0.03145$). O

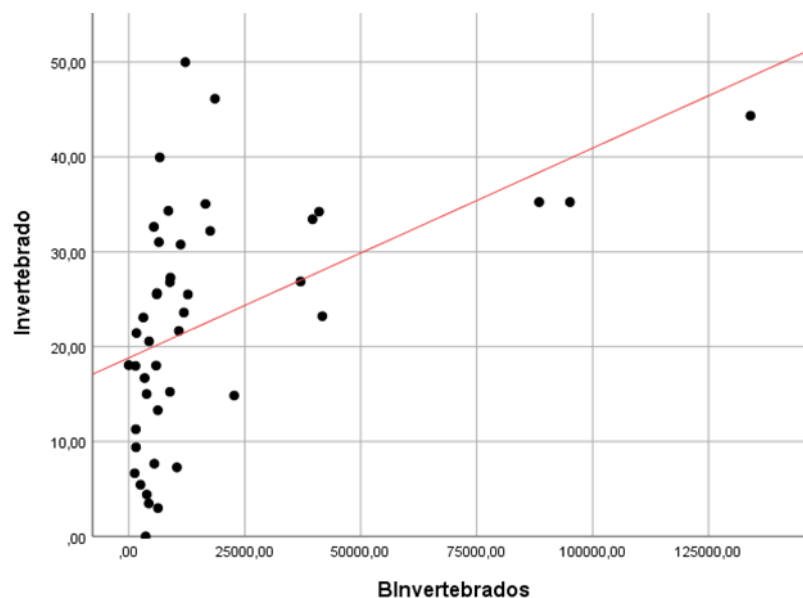
teste de Mann Kendall também mostrou uma tendência decrescente significativa ($\tau = -0.353$, $p = 0.0003$) (Fig. 29).

Fig. 29. Porcentagem de tempo que os macacos-prego da FBV dedicaram a se alimentar de invertebrados desde abril de 2006 até junho de 2018. As linhas vermelhas indicam a separação entre cada período de coleta de dados.



A porcentagem de tempo que os macacos passaram se alimentando de invertebrados foi positivamente correlacionado com a biomassa estimada de invertebrados ($r: 0,657$ $p: 0.000$) (Fig. 30)

Fig. 30. Correlação positiva entre a porcentagem de tempo que os macacos-prego passaram se alimentando de invertebrados e a biomassa estimada de invertebrados na FBV.



Também houve uma correlação negativa entre o consumo de cocos e frutos ($r: -0,323$ $p= 0,027$).

No caso do milho, as análises mostraram diferenças significativas entre o primeiro e segundo períodos de coleta ($X^2 = 30.614$, $p = 3.148e^{-08}$), sendo que praticamente não houve registros dos macacos se alimentando de milho das plantações nos nossos dados até o ano 2016. As análises mostraram uma tendência crescente significativa ($\tau = 0.503$, $p = 0,02$).

Encontramos também diferenças significativas na porcentagem de tempo que os macacos dedicam a se alimentar de sementes entre o primeiro e segundo bloco ($X^2 = 13.2$, $p\text{-value} = 0.00028$), além de uma tendência decrescente significativa ($\tau = -0.465$, $p = 0,02$). O consumo de sementes foi negativamente correlacionado ao consumo de alimentos provisionados ($r: -0,389$, $p: 0,006$)

Por último, encontramos uma tendência decrescente significativa no tempo dedicado pelos macacos a se alimentar de folhas ($\tau = -0.241$, $p = 0.017$)

3.5. Uso do estrato

Durante o período 2007-08, os macacos da FBV passaram em média 63,28% do tempo no estrato arbóreo e 36,72% do tempo no solo: nas estações chuvosas passaram 71,42% do tempo nas árvores e 28,58% no solo; nas estações secas 55,13% nas árvores e 44,87% no solo. Durante o período 2015-20, os macacos passaram em média 68,92% do tempo nas árvores e 31,08% do tempo no solo: nas estações chuvosas passaram 74,18% do tempo nas árvores e 25,82% no solo; nas estações secas 63,67% nas árvores e 36,33% no solo. Na fig. 33 se diferencia entre os dois períodos de coleta de dados e momento do dia (manhã, meio do dia e tarde).

Em todos os casos, a porcentagem de tempo que os macacos passaram no solo foi menor no período 2015-20 do que no período 2007-08, mas não foram encontradas diferenças significativas entre ambos, e nem entre estações ou momentos do dia (manhã, meio do dia e tarde) (Fig.33). Já o teste de Mann Kendall detectou uma tendência decrescente no uso do solo ($\tau = -0.42$, $p = 0.000$) e, portanto, uma tendência crescente no tempo que passam nas árvores.

Fig. 33. Percentagem de tempo que os macacos prego passaram no solo e nas árvores nas estações chuvosas (a) e secas (b), diferenciando entre os períodos 2007-08 (1) e 2015-20 (2) e total do dia (T), manhã (MA), meio do dia (MD) e tarde (TA)



A percentagem de tempo que os macacos passaram no solo foi negativamente correlacionada ao tempo que passam descansando ($r: -0,557$ $p:0,001$) (Fig. 34)

A porcentagem de tempo que os macacos passam no solo foi negativamente correlacionado à temperatura máxima média ($r: -0,395$ $p: 0,028$) (Fig. 35) e positivamente correlacionada à quantidade de palmeiras com fruto por hectare ($r: 0,577$ $p: 0,001$) (Fig. 35).

Fig. 34. Correlação negativa entre o tempo que os macacos-prego da FBV passam no solo e o tempo que passam descansando ($r: -0,557$ $p:0,001$)

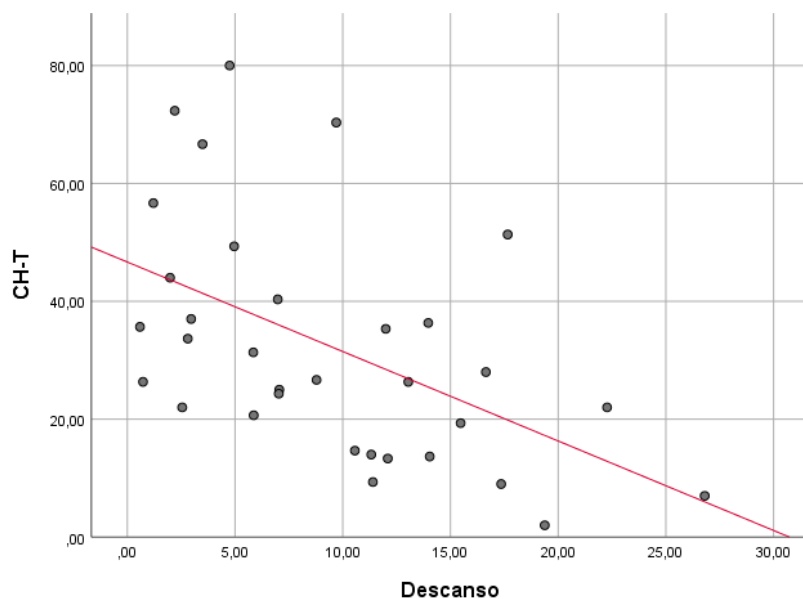


Fig. 35. Correlação negativa entre o tempo que os macacos-prego da FBV passam no solo e a temperatura máxima média ($r: -0,395$ $p: 0,028$).

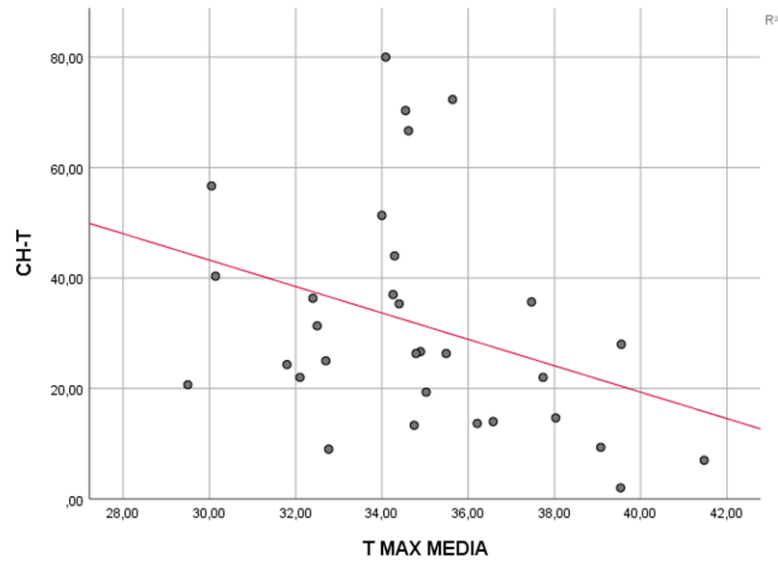
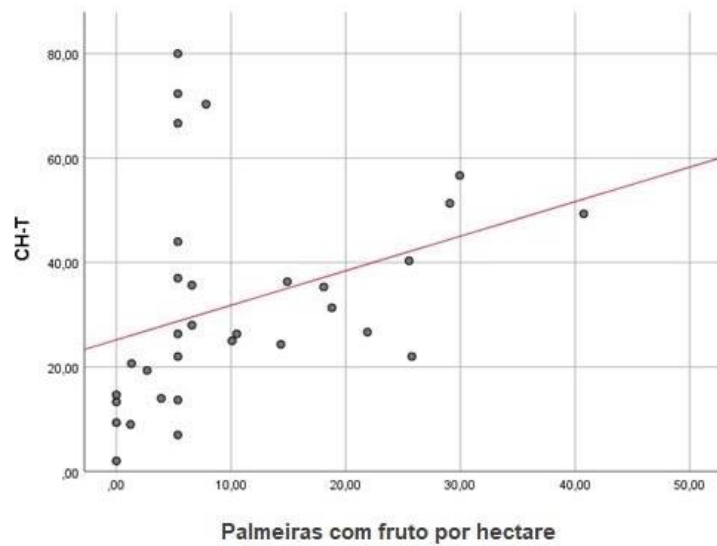


Fig. 36. Correlação positiva entre o tempo que os macacos-prego da FBV passam no solo e a quantidade estimada de palmeiras com fruto por hectare ($r: 0,577$ $p: 0,001$).



4.DISCUSSÃO

Neste trabalho investigamos a hipótese de que a mudança no uso e cobertura do solo na região de Gilbués estaria colocando em risco a tradição local de quebra de cocos da população de macacos-prego da Fazenda Boa Vista (Presotto *et al.* 2020). Também testamos as hipóteses de que haveria mudanças nas variáveis climáticas da FBV, diminuição na oferta de alimentos; mudanças no orçamento de atividades, comportamento alimentar e uso dos estratos por parte dos macacos. Para isso, analisamos 15 anos de dados de variáveis climáticas, biomassa de frutos e invertebrados, quantidade de palmeiras com frutos por hectare, orçamento de atividades dos macacos, comportamento alimentar e quebra de cocos coletados para essa população. A localização da área de estudo, cuja paisagem tem mudado intensamente nos últimos anos com o avanço do agronegócio, assim como a disponibilidade de dados longitudinais, forneceram o cenário ideal para investigar como a mudança climática e do uso do solo podem estar afetando a diversidade comportamental de um primata nativo.

Nossos resultados corroboraram que o clima da região está mudando, com elevação da temperatura máxima e diminuição da temperatura e umidade mínimas. Também confirmamos a hipótese de uma queda na oferta de alimentos para os macacos, tanto de invertebrados quanto de frutos, incluindo cocos. Finalmente, comprovamos que os macacos mostraram alterações comportamentais correlacionadas às mudanças no clima e na oferta de alimentos, assim como uma diminuição na atividade de quebra. Esse conjunto de evidências confirma a hipótese de que a tradição cultural de quebra de cocos por macacos-prego na região de Gilbués está ameaçada de extinção.

4.1. Mudanças nas variáveis ambientais da Fazenda Boa Vista

Como previmos na primeira hipótese, encontramos um aumento significativo na temperatura máxima média na Fazenda Boa Vista, Gilbués, PI, entre 2006 e 2021, sendo que as análises predizem um aumento anual de 0,2°C até o ano 2030. Esses resultados, são compatíveis com os de outros estudos que mostram que o Cerrado está ficando mais seco e quente, fenômeno que pode ser observado tanto na escala local como regional (Hofmann *et al.*, 2021, Salvador & de Brito, 2018). Tais pesquisas também evidenciaram um aumento na frequência de dias extremamente quentes (Salvador & de Brito, 2018), e, de fato, os dados coletados na FBV mostram que a maioria de dias em que foi registrada uma temperatura máxima maior a 40°C ocorreram a partir do ano 2017 (56 de 65 dias). No contexto da mudança climática global, que apresenta efeitos mais intensos nos trópicos, a transformação do uso do solo pode ser um fator determinante nessas variações: nas últimas décadas têm

surgido extensas áreas de agricultura intensiva (mecanizada) e grandes rebanhos, o que tem criado um cenário muito diferente da vegetação nativa e da agricultura familiar de pequena escala que predominava anteriormente (Salvador & de Brito, 2018). Outro fator importante na mudança ambiental da região tem sido o crescimento urbano impulsionado pelo considerável crescimento populacional das últimas 2 décadas, resultando na construção de habitação e pavimentação e criação de novas estradas, como a BR-235. Diferentemente da maioria de estações na região agrária conhecida como MAPITOBA (Maranhão, Piauí, Tocantins e Bahia), a estação de Bom Jesus (PI), uma das mais próximas à FBV (a uns 130km), mostrou uma tendência negativa na temperatura mínima (Salvador & de Brito, 2018). Esses resultados são compatíveis com os do presente trabalho, que também mostraram uma queda na temperatura mínima nas estações chuvosas. Essa particularidade em Bom Jesus e na FBV, com tendências positivas na temperatura máxima e negativas na temperatura mínima, pode estar relacionada a atividades antrópicas de desmatamento e urbanização, com características próprias e diferentes das demais localidades do MATOPIBA, resultando em um efeito semelhante à desertificação. Tal efeito pode ter levado à uma diminuição da coluna de umidade em áreas sem vegetação, o que faz que à noite haja uma maior perda da radiação terrestre, levando a área a um resfriamento. Durante o dia, há um aquecimento excessivo da área, pois há uma diminuição da energia utilizada para a evaporação, e a energia extra aquece a superfície e a atmosfera, aumentando a temperatura (Salvador & de Brito, 2018). Esse processo tem sido amplamente descrito no município de Gilbués, considerado um dos quatro núcleos de desertificação do Brasil (Tomasella *et al.*, 2018; De Oliveira *et al.*, 2011; Crepani, 2009).

Embora a umidade máxima relativa e as precipitações anuais não tenham mostrado nenhuma tendência significativa, a umidade mínima está caindo e as análises preveem uma diminuição anual média de 0,4% nos próximos anos. De novo, essa queda progressiva contribui à evidência de que o ambiente está ficando cada vez mais seco em áreas onde o impacto antropogênico está crescendo.

Como a mudança climática encontrada nos nossos resultados está afetando as comunidades vegetais e animais da área de estudo é uma questão que deve ser investigada. Pesquisadores preveem uma queda global pronunciada na riqueza de espécies caso se desse um cenário de aumento de temperatura superior a 2°C em 2050, sendo que Brasil é um dos países mais vulneráveis à mudança climática, afetando em todos os níveis de organização (biomas, espécies e ecossistemas) (Scarano, 2019). No entanto, o impacto real desse

fenômeno nas diferentes populações, tanto de vertebrados, quanto de invertebrados, ainda é pouco conhecido, sendo complicado, em muitos casos, estabelecer uma relação causal. Os insetos estão entre os grupos de organismos com maior probabilidade de serem afetados pelas mudanças climáticas, já que o clima tem uma influência direta em seu desenvolvimento, reprodução e sobrevivência. A queda na biomassa de invertebrados na FBV, assim como a correlação positiva com a temperatura mínima e a umidade sugerem uma maior vulnerabilidade desse grupo. No entanto, esses efeitos podem variar muito entre espécies, sendo que algumas pragas que correm apenas em pequenas áreas ou em baixas densidades, podem se espalhar mais amplamente e atingir densidades populacionais prejudiciais (Sangle et al., 2015).

No caso dos primatas, pesquisas preveem que a maioria de espécies será exposta a condições além de suas amplitudes térmicas atuais, sendo que muitas delas perderão habitats climaticamente adequados a partir de meados do presente século. De fato, as populações de primatas podem ser sensíveis ao estresse climático de muitas formas. Por exemplo, alguns modelos mostram que temperaturas mais quentes podem aumentar as taxas metabólicas de lêmures de camundongo (gênero *Microcebus*), o que envolve um aumento dos custos energéticos (Meyer & Pie, 2022). É importante ressaltar que muitas das extinções locais registradas têm sido associadas a variações na temperatura máxima média, a variável que mais rapidamente está mudando (Meyer & Pie, 2022). A população de macaco-prego da FBV não parece estar sofrendo um declínio populacional, talvez graças à plasticidade comportamental dessa espécie. No entanto, as mudanças na temperatura poderiam ter consequências diretas ou indiretas a longo prazo, incluindo um maior gasto de energia associado à termorregulação (tanto pelo aumento da T_{max} quanto pela diminuição da T_{min}), mudanças no deslocamento associadas a variações na distribuição de recursos, ou perdas no repertório comportamental, entre outras.

Além desse impacto nas populações de fauna, a mudança climática tem como consequência o empobrecimento do Cerrado, contração florestal, expansão da vegetação aberta e empobrecimento geral da vegetação. Vale ressaltar que sistemas humanos e naturais são acoplados, embora a ciência disciplinar muitas vezes os trate separadamente. Portanto, os riscos que as mudanças climáticas impõem à biodiversidade têm consequências diretas e indiretas para o bem-estar e os meios de subsistência humanos. Por exemplo, um componente preocupante do efeito das variações climáticas sobre a biodiversidade refere-se aos impactos no crescimento das plantas, pois afeta à produtividade e, portanto, ao funcionamento dos

ecossistemas, cadeias alimentares, suprimento de oxigênio, alimentos, fibras e combustível para a humanidade (Scarano, 2019). Apesar da enorme importância do Cerrado para a conservação das espécies e a prestação de serviços ecossistêmicos, o bioma já perdeu 88 Mha (46%) de sua cobertura vegetal nativa, e apenas 19,8% permanece intacto (Strassburg et al., 2017). Além disso, autores apontam que áreas de transição entre ecossistemas, como é o caso da Fazenda Boa Vista, localizada no ecótono Cerrado-Caatinga, são particularmente sensíveis às atividades humanas, como o pastoreio e a importantes componentes das mudanças climáticas, como a variabilidade da precipitação prevista. As transições de biomas são áreas de alto interesse socioecológico, pois possuem uma diversidade biológica única e alta em múltiplos níveis (de genes a comunidades) o que as converte em áreas de alto interesse de conservação (Anadón, et al., 2014).

A drástica diminuição encontrada na biomassa de palmeiras, frutos e invertebrados (nesse caso nas estações chuvosas) confirma nossa segunda hipótese. Porém, embora seja verdade que esperávamos uma queda na biomassa dessas três variáveis, não previmos que fosse tão acentuada. É importante interpretar esses resultados com cautela, pois, ainda que possam ser usados para ter uma noção do declínio dos três recursos, foi usada uma metodologia de amostragem básica, sem levar em conta possíveis padrões fenológicos, a diversidade de espécies ou o estágio do desenvolvimento, entre outros. Levando em conta a complexidade das dinâmicas populacionais das espécies vegetais e, sobretudo, dos insetos (Didham *et al.*, 2020), torna-se necessário estudar detalhadamente a situação das comunidades vegetais e de invertebrados da Fazenda Boa Vista, dando especial atenção às espécies consumidas pelos macacos-prego. No caso das palmeiras e biomassa de frutos, queimadas eventuais na área de amostragem podem ter influenciado na estimativa, pois ela parece ter sido mais afetada pelo fogo do que o resto do local de estudo (Jozemar da Silva Oliveira, com. pessoal). Ampliar as trilhas de coleta de dados (incluindo zonas mais afastadas das habitações), pode ajudar a obter resultados mais representativos de toda a área de vida dos macacos. Por outro lado, a correlação negativa entre a quantidade de palmeiras com fruto e a temperatura máxima média sugere que a mudança climática pode estar influenciando na disponibilidade de cocos de catulé e piaçava, o que é especialmente preocupante, pois os modelos preveem que a temperatura máxima vai seguir aumentando. De novo, é importante continuar pesquisando a evolução de todas essas variáveis, pois, se essas tendências se mantiverem, os macacos-prego da FBV poderiam estar enfrentando uma escassez de recursos

chave. Além disso, numerosas espécies de aves, répteis e mamíferos também podem estar sendo afetadas e, em consequência, todo o ecossistema.

A respeito da biomassa estimada de invertebrados, a queda nas estações chuvosas também foi surpreendentemente alta. O desmatamento acelerado e o avanço do agronegócio nas proximidades da FBV poderiam estar associados a essa diminuição. Mesmo que na FBV não sejam usados agrotóxicos, o solo e a água da região poderiam estar contaminados, pois há cultivos intensivos a 18km de distância. Assim que atingem a área alvo, os pesticidas desaparecem por degradação, dispersão, volatilização ou lixiviação nas águas superficiais e subterrâneas; podendo ser absorvidos por outras plantas ou organismos, o que pode afetar especialmente às populações de insetos, pois muitas espécies vivem na água nas primeiras fases do desenvolvimento (Mahmood *et al.*, 2016). Embora no atual trabalho não tenha sido pesquisada a relação entre o uso de agrotóxicos na região e a queda de invertebrados, vários estudos mostraram essa ligação ao longo do planeta (Sánchez-Bayo & Wyckhuys, 2019; Brühl & Zaller, 2019) e alguns autores consideram que o uso excessivo de agrotóxicos em Gilbués é uma das principais causas de desertificação no lugar (Rodrigues de Carvalho *et al.*, 2018). Dado que no último censo agropecuário não foram publicados alguns dados relativos a essa questão, como o método de aplicação dos agrotóxicos (manual, trator, aeronave, etc.), é difícil conjecturar sobre uma possível contaminação na nossa área de estudo. Nesse contexto, uma pesquisa que investigue essa queda na biomassa de invertebrados em maior profundidade, bem como o uso de pesticidas nos cultivos próximos à FBV, é necessária para entender esse fenômeno. Curiosamente, a biomassa estimada de invertebrados se manteve ou cresceu nas estações secas. Uma possibilidade é que esse aumento esteja relacionado a picos populacionais das larvas do besouro curculionídeo *Rhynchophorus palmarum*, considerado uma praga de coqueiros e palmeiras, que tem sido observado maiormente nos últimos anos pelos moradores da área, podendo ter chegado desde outros lugares (R. Ferreira-Chaliné, com. pessoal). Além de causar uma perfuração e inflamação nas palmeiras, transmite o nematódeo *Bursaphelenchus cocophilus*, que ocasiona a doença do “anel vermelho”, podendo ser mortal e transmitida para as palmeiras vizinhas (Oehlschlager *et al.*, 2002). Nesse contexto poder-se-ia hipotetizar que a proliferação de ambas as espécies está relacionada à diminuição de palmeiras com fruto na FBV. No entanto, uma pesquisa mais detalhada seria necessária para conferir (1) se a queda de invertebrados nas estações chuvosas é representativa da situação real das populações de invertebrados da FBV, (2) se o aumento nas estações chuvosas está associado à abundância de *R. palmarum*, e (3) se essa abundância está relacionada à

diminuição de palmeiras com fruto. Didham *et al.* (2020) revisaram a literatura sobre o declínio de insetos e apontaram a importância de refinar os métodos de amostragem e pesquisa, levando em conta a complexidade das flutuações populacionais.

Por último, vale ressaltar que no atual cenário de mudanças globais e regionais, é importante, além da criação de áreas protegidas, promover formas de agricultura mais heterogêneas e sustentáveis. Embora no passado alguns ecologistas presumiram que as terras modificadas têm um valor muito limitado para a conservação da natureza, mosaicos de habitats perturbados e secundários podem fornecer habitats importantes e locais de forrageamento para espécies florestais, bem como trampolins e corredores para dispersão biótica. Esses mosaicos também podem ser gerenciados em alguns casos para beneficiar a agricultura, promovendo serviços ecossistêmicos naturais, como controle de pragas e polinização. Pesquisas mostraram que os valores naturais de terras agrícolas e pastagens intensivamente manejadas são tipicamente muito mais baixos do que os de ambientes estruturalmente mais complexos, como florestas cortadas e secundárias, plantios mistos e sistemas agroflorestais bem manejados (Laurance *et al.*, 2013). Além disso, formas tradicionais de agricultura familiar parecem envolver menos conflitos com a fauna nativa do que sistemas de agricultura intensiva, como é o caso das grandes extensões de monoculturas (Spagnoletti *et al.*, 2017).

4.2. Mudanças no comportamento dos macacos-prego da FBV

A flexibilidade comportamental do gênero *Sapajus* tem sido amplamente descrita, pelo que era previsível que, diante das mudanças ambientais encontradas na FBV, os macacos-prego mudassem o orçamento de atividades (Verderane, 2010; Izar, 2016; Sabbatini *et al.* 2007; Izar & Ferreira, 2007). O tempo dedicado a alguns comportamentos, tem se mantido similar ao longo do tempo: por exemplo, nos dois períodos de coleta de dados, a alimentação foi a atividade a que mais tempo dedicaram (entre 43% e 46%). Em outros casos, como previmos, houve mudanças significativas: O tempo dedicado a se deslocar parece estar diminuindo, tendência que se mostra mais intensa nas estações chuvosas (Fig. 19). Uma possibilidade é que o processo de habituação explique essa tendência, pois os macacos, mais habituados à presença de pesquisadores no último período, poderiam estar "fugindo" menos. Porém, o fato de esse comportamento ter sido negativamente correlacionado à temperatura máxima média sugere que os macacos se deslocam menos quando as temperaturas são mais altas, o que poderia ser explicado pelo risco de hipertermia, pois quando a atividade física é

maior, também aumenta a temperatura corporal. Os mecanismos de termorregulação, incluindo aqueles destinados a diminuir a temperatura corporal, envolvem um aumento da taxa metabólica e do gasto de energia, pelo que podem não ser suficientes para evitar a hipertermia, sendo mais eficaz reduzir a atividade física (Rezende & Bacigalupe, 2015).

Nossos resultados confirmaram a hipótese proposta por Presotto *et al.* (2020), que sugere que a tradição da quebra de cocos usando ferramentas está ameaçada: houve uma queda significativa no tempo dedicado a esse comportamento. Apesar dos animais estarem mais habituados e quebrarem em mais locais do que no início da pesquisa (nos primeiros anos apenas quebravam no alto do morro, enquanto na atualidade quebram no chão de vários lugares, incluindo a roça), os resultados mostraram uma diminuição. Essa atividade foi, por um lado, positivamente correlacionada ao número de palmeiras com fruto por hectare e à umidade mínima e, por outro, negativamente correlacionada à temperatura máxima média. Trabalhos anteriores na FBV, assim como o presente estudo, mostraram que não há diferenças sazonais na oferta de frutos, mas sim na oferta de cocos catulé (mais abundantes na seca), sendo que, até agora, não parece que os primatas tenham precisado lidar com períodos de escassez de alimentos. Por isso, pesquisadoras concluíram que o uso de ferramentas não é uma estratégia para lidar com a diminuição da oferta de alimento, mas sim consequência das oportunidades propiciadas pela oferta de cocos e pedras, sendo que os macacos as transportam até o local de quebra (Visalberghi *et al.*, 2008; Spagnoletti *et al.*, 2012; Santos, 2015; Presotto *et al.*, 2020). A correlação positiva entre o número de palmeiras com fruto por hectare e o tempo dedicado a quebrar confirma essas conclusões. Fragaszy *et al.* (2013) mostraram a importância da presença de artefactos, incluindo cocos, pedras e cascas, para facilitar a prática guiada do uso de ferramentas. Mesmo sem oportunidades de obter itens comestíveis, é mais provável que essa atividade se desenvolva em situações nas que há acúmulo de artefatos, ao serem uma parte importante do nicho socialmente construído no qual os jovens aprendem a quebrar. Por outro lado, embora não tenha havido

correlação significativa entre o tempo dedicado à quebra e o tempo que os macacos passaram no solo, esse último foi negativamente correlacionado à temperatura máxima e positivamente correlacionado ao número de palmeiras com fruto por hectare. Levando em conta a correlação negativa entre a temperatura máxima e o tempo dedicado a quebrar, a diminuição dessa tradição poderia, portanto, estar também relacionada ao uso do solo, como foi proposto em trabalhos anteriores (Visalberghi *et al.*, 2005; Meulman *et al.*, 2012). É importante ressaltar que os modelos preveem que a temperatura máxima continue aumentando

e que, a umidade mínima continue caindo. Embora *S. libidinosus* apresente uma grande plasticidade comportamental e consiga se ajustar a essas variações ambientais, é provável que a tradição cultural da quebra diminua cada vez mais na população, chegando a desaparecer em algumas gerações, pois, como mencionado acima, a escassez de cocos resulta em menos oportunidades para os juvenis aprenderem esse comportamento (Fragaszy & Perry, 2003; Fragaszy *et al.*, 2013). Medidas destinadas a conservar as comunidades vegetais e, em especial as palmeiras, são fundamentais para conservar a cultura da população de macaco-prego da região da Fazenda Boa Vista e Gilbués. Izar *et al.* (2022) mostraram que o uso de ferramentas pelos macacos-prego melhorou a nutrição através do fornecimento de uma dieta mais equilibrada. A dieta que envolve o uso de ferramentas apresenta níveis mais elevados de gordura, carboidratos e energia, além de reduzir a dispersão na proporção de energia proteica para não proteica. É provável, portanto, que a perda progressiva da tradição de quebra resulte em consequências nutricionais negativas para os macacos-prego da FBV. Até agora, vários autores têm alertado sobre as ameaças às tradições culturais de várias espécies (van Schaik, 2002; Whitehead *et al.*, 2004; Whitehead, 2010; Brakes *et al.*, 2019; Presotto *et al.*, 2020). O presente trabalho mostra, através de dados longitudinais, como uma tradição local está de fato sendo negativamente afetada em um período de tempo relativamente curto, o que tem sido relacionado a mudanças de origem antrópica. Incluir as tradições locais nos critérios de conservação, assim como prestar atenção nas variáveis que podem estar ameaçando-as, é fundamental para conservar tanto a diversidade comportamental quanto as populações de numerosas espécies (Whitehead, 2010; Brakes *et al.*, 2019).

Outra mudança encontrada no orçamento de atividades foi o aumento no tempo dedicado a comportamentos sociais. Pesquisas em outras espécies têm mostrado resultados contrários, sendo que populações que vivem em habitats mais alterados passam menos tempo envolvidos em comportamentos como a brincadeira do que populações que moram em habitats mais conservados, além de mostrar um menor repertório de comportamentos sociais (Li & Rogers, 2004; Negrín *et al.*, 2016). De novo, a habituação dos primatas aos pesquisadores poderia ter um papel importante, pois os animais estão se mostrando mais desinibidos nos últimos anos, chegando a se aproximar às pessoas, animais domésticos e habitações. No entanto, é necessário fazer um estudo mais detalhado, usando categorias mais específicas (ex. brincadeira, catação, ameaça, etc.) e diferenciando entre comportamentos agonísticos e afiliativos, pois o aumento observado poderia ser explicado por uma maior frequência em alguma delas. Além disso, pesquisar como as redes sociais de cada grupo vão

mudando ao longo do tempo nesse habitat cada vez mais alterado, pode ajudar a entender os ajustes comportamentais dos macacos em relação à pressão antrópica (Testard *et al.*, 2021).

Em relação ao uso do estrato, nossa hipótese foi confirmada, pois houve uma tendência decrescente no tempo que os macacos passaram no solo ao longo dos últimos anos. Em ambas as estações e nos três períodos do dia (manhã, meio do dia e tarde) o tempo que os macacos passaram no solo foi ligeiramente menor na última época (2015-2020). O fato de o uso do solo estar negativamente correlacionado à temperatura máxima sugere que os macacos ficam mais tempo nas árvores quando as temperaturas são altas, o que pode ser explicado pela procura de sombra. De novo, se as previsões se cumprirem, o aumento das temperaturas poderá resultar em uma maior diminuição do uso do solo, o que, como apontado acima, também poderia afetar a tradição de quebra (Visalberghi *et al.*, 2005; Meulman *et al.*, 2012).

4.2.1. Mudanças no comportamento alimentar

Nossa hipótese sobre o comportamento alimentar também foi confirmada, pois encontramos mudanças no tempo que os macacos dedicaram a consumir os diferentes itens.

Como evidenciado pela correlação positiva entre o número de palmeiras por hectare e o tempo dedicado a se alimentar de cocos, a queda na biomassa desse item explica em parte a diminuição do consumo de cocos. Esse alimento é um recurso chave na dieta dos macacos-prego da FBV, pois constituem uma das principais fontes de lipídios e, portanto, de energia não proteica (Santos, 2015). Como a dieta dos macacos será modificada a longo prazo por causa da diminuição desse recurso é uma questão que deve ser pesquisada, pois os animais deverão consumir outros alimentos que supram essa falta. O aumento do consumo de milho, sendo que este foi negativamente correlacionado ao número de palmeiras com fruto por hectare, sugere que a exploração de itens antrópicos poderia ser uma forma de lidar com a diminuição desses recursos. Da mesma forma, a correlação negativa entre o consumo de cocos e frutos sugere que os animais poderiam estar compensando a escassez de cocos aumentando também o consumo de polpa de frutos. Isso concorda com os resultados de Freitas *et al.* (2008), que observaram que o consumo de itens de cultivos foi negativamente correlacionado à intensidade de frutificação das árvores zoocóricas. De fato, outros estudos mostraram que quando os macacos se habituem à presença de humanos e recursos antrópicos, mesmo explorando tais recursos, continuam consumindo em proporções relativamente altas alimentos selvagens, isto é, o milho ou a cana de açúcar aparecem na dieta, mas o resto de itens não diminui excessivamente. Por isso, é mais provável que o menor consumo de cocos e

invertebrados esteja relacionado à menor disponibilidade dos recursos. Mais estudos são necessários para investigar em mais detalhes essas ideias.

O tempo que os macacos dedicaram a se alimentar de invertebrados também caiu nos últimos anos, o que é explicado, em parte, pela menor oferta desse recurso (Fig. 30). Os invertebrados são uma fonte importante de proteínas. O estudo de Santos (2015) mostrou que as fêmeas jovens e adultas ingeriram maiores quantidades de invertebrados do que os machos adultos, o que poderia ser explicado por uma maior demanda proteica associada ao crescimento e à gravidez ou lactância. Diante desse cenário, é importante pesquisar as consequências nutricionais a longo prazo, diferenciando entre categorias sexo-etárias, pois as fêmeas poderiam ser mais afetadas por essa queda na biomassa. Além disso, o tempo dedicado a se alimentar de milho foi negativamente correlacionado ao tempo dedicado a se alimentar de invertebrados. De novo, o consumo de milho pode ser uma forma de lidar com a queda desse recurso.

O fato de o consumo de frutos não ter diminuído, mesmo havendo encontrado uma grande queda na biomassa, poderia ser explicado porque: (1) a oferta de frutos ainda é grande (ou suficiente), ou (2) a queda tem se produzido maiormente em espécies que não são consumidas pelos macacos. Em qualquer caso, é importante continuar procurando variações a médio-longo prazo, pois podem ter acontecido mudanças na diversidade de frutos ou espécies consumidas.

O tempo que os macacos passaram se alimentando de sementes foi negativamente correlacionado ao consumo de itens provisionados. Esses itens são, na maioria de casos, cocos e milho (bananas também eram usadas no primeiro período), utilizados para facilitar o seguimento dos macacos. As sementes são uma das principais fontes de lipídios nas estações secas (Santos, 2015) e, embora os cocos também possam fornecer esse nutriente, o milho (que é provido com maior frequência nos últimos anos) não é rico em lipídios. É importante pesquisar se essas tendências continuarão nos próximos anos e quais serão os possíveis efeitos.

Com respeito ao consumo de milho das plantações, ele praticamente não apareceu nos dados dos primeiros períodos. Nosso último bloco de dados começa em dezembro de 2015, porém, sabemos que já acontecia anteriormente (Spagnoletti et al, 2017). Spagnoletti *et al.* (2016) mostraram com dados coletados em 2013, que os macacos-prego da FBV consumiram a maioria das perdas dos cultivos de milho, no entanto, isso não trouxe conflitos consideráveis com os agricultores. Outros itens de plantações consumidos pelos macacos

foram arroz e mandioca, que praticamente tinham parado de ser cultivados pelas famílias da Serra da Boa Vista no começo dos anos 2000 devido às mudanças económicas e auxílios daquela época, mas voltaram a ser plantados e aproveitados pelos macacos nos últimos anos.

É importante ressaltar que todos esses resultados relativos à alimentação devem ser considerados com cautela, pois em vários meses dos últimos anos o volume de dados foi relativamente pequeno, já que em muitos dos scans não se conseguiu especificar o item que estava sendo forrageado ou consumido pelos macacos. Embora seja verdade que esses dados podem ser utilizados para ter uma noção das mudanças que parecem estar acontecendo na dieta dos animais, é fundamental a ampliação da pesquisa, aumentando o esforço de amostragem nas varreduras e utilizando também dados focais para serem comparados com os resultados de Santos (2015).

5. CONCLUSÃO

Os resultados confirmaram que as variáveis ambientais da Fazenda Boa Vista mudaram nos últimos anos, sendo que os modelos preveem que as tendências de aumento da temperatura máxima e de diminuição da umidade e temperatura mínima continuarão no futuro. Também foi encontrada uma queda na biomassa estimada de frutos, invertebrados e palmeiras com fruto, todos eles recursos explorados pelos macacos-prego da região.

Os resultados também mostraram mudanças comportamentais na população de macacos-prego, incluindo mudanças na dieta e no orçamento de atividades. A diminuição no tempo que os animais dedicaram a se alimentar de cocos e invertebrados foi relacionada à queda desses recursos, enquanto o consumo de outros itens, como o milho, aumentou significativamente nos últimos anos. A capacidade de explorar recursos antrópicos é explicada pela flexibilidade alimentar do gênero *Sapajus*, mas não são conhecidas as consequências de longo prazo. Por outro lado, encontramos um aumento no tempo dedicado a comportamentos sociais e uma diminuição no tempo dedicado a se deslocar e quebrar cocos usando ferramentas. Foi confirmada, portanto, a hipótese de que a tradição local de quebra está ameaçada pela crescente pressão antrópica. A queda na quantidade de palmeiras com fruto e na umidade mínima, assim como o aumento da temperatura máxima, foram relacionadas à redução da quebra de cocos. O uso do solo, bem como a disponibilidade de cocos e pedras são imprescindíveis para que os indivíduos jovens aprendam a quebrar. Se ambas as variáveis continuarem declinando, é muito provável que essa tradição cultural se torne cada vez menos frequente, chegando inclusive a desaparecer. Nesse contexto, ressaltamos a importância de incluir a diversidade comportamental nos critérios de conservação da biodiversidade, não apenas pelo seu valor intrínseco, mas também porque a perda da mesma poderia trazer consequências negativas para as populações de diferentes espécies. Nesse sentido, são fundamentais as pesquisas de longo prazo que busquem conhecer como esses comportamentos se desenvolvem, como evoluíram e como poderão ser conservados.

REFERÊNCIAS

- Abessa, D., Famá, A., & Buruaem, L. (2019). The systematic dismantling of Brazilian environmental laws risks losses on all fronts. *Nature ecology & evolution*, 3(4), 510-511. <https://doi.org/10.1038/s41559-019-0855-9>
- Altmann, J. (1974). Observational study of behavior: sampling methods. *Behaviour*, 49(3-4), 227-266.
- Alroy, J. (2015). Current extinction rates of reptiles and amphibians. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(42), 13003-13008. <https://doi.org/10.1073/pnas.1508681112>
- Anadón, J. D., Sala, O. E., & Maestre, F. T. (2014). Climate change will increase savannas at the expense of forests and treeless vegetation in tropical and subtropical American Journal of Ecology, 102(6), 1363-1373. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12325>
- Ashbury, A. M., Meric de Bellefon, J., Kunz, J. A., Abdullah, M., Marzec, A. M., Fryns, C., ... & van Noordwijk, M. A. (2022). After the smoke has cleared: Extended low fruit productivity following forest fires decreased gregariousness and social tolerance among wild female Bornean orangutans (*Pongo pygmaeus wurmbii*). *International Journal of Primatology*, 43(2), 189-215. <https://doi.org/10.1007/s10764-021-00263-x>
- Back, J. P., Suzin, A., & Aguiar, L. M. (2019). Activity budget and social behavior of urban capuchin monkeys, *Sapajus spp.* (Primates: *Cebidae*). *Zoologia (Curitiba)*, 36. <https://doi.org/10.3897/zoologia.36.e30845>
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O., Swartz, B., Quental, T. B., ... & Ferrer, E. A. (2011). Has the Earth's sixth mass extinction already arrived?. *Nature*, 471(7336), 51-57. <https://doi.org/10.1038/nature09678>
- Bencloski, J. W. (1982). Air temperature and relative humidity: A simulation. <https://doi.org/10.1080/00221348208980713>
- Berger-Tal, O., Polak, T., Oron, A., Lubin, Y., Kotler, B. P., & Saltz, D. (2011). Integrating animal behavior and conservation biology: a conceptual framework. *Behavioral Ecology*, 22(2), 236-239. <https://doi.org/10.1093/beheco/arq224>
- Bowler, D. E., Heldbjerg, H., Fox, A. D., de Jong, M., & Böhning-Gaese, K. (2019). Long-term declines of European insectivorous bird populations and potential causes. *Conservation Biology*, 33(5), 1120-1130. <https://doi.org/10.1111/cobi.13307>

- Braga, A. R. C., de Rosso, V. V., Harayashiki, C. A. Y., Jimenez, P. C., & Castro, Í. B. (2020). Global health risks from pesticide use in Brazil. *Nature Food*, 1(6), 312-314. <https://doi.org/10.1038/s43016-020-0100-3>
- Brakes, P., Dall, S. R., Aplin, L. M., Bearhop, S., Carroll, E. L., Ciucci, P., ... & Rutz, C. (2019). Animal cultures matter for conservation. *Science*, 363(6431), 1032-1034. <https://doi.org/10.1126/science.abe6514>
- Brühl, C. A., & Zaller, J. G. (2019). Biodiversity decline as a consequence of an inappropriate environmental risk assessment of pesticides. *Frontiers in Environmental Science*, 177. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2019.00177>
- Caro, T. (2007). Behavior and conservation: a bridge too far?. *Trends in ecology & evolution*, 22(8), 394-400. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2007.06.003>
- Chapman, C. A., & Peres, C. A. (2001). Primate conservation in the new millennium: the role of scientists. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 10(1), 16-33. <https://doi.org/10.1002/1520-6505>
- Christiansen, F., Rasmussen, M. H., & Lusseau, D. (2013). Inferring activity budgets in wild animals to estimate the consequences of disturbances. *Behavioral Ecology*, 24(6), 1415-1425. <https://doi.org/10.1093/beheco/art086>
- Christensen, V., Coll, M., Piroddi, C., Steenbeek, J., Buszowski, J., & Pauly, D. (2014). A century of fish biomass decline in the ocean. *Marine ecology progress series*, 512, 155-166. <https://doi.org/10.3354/meps10946>
- Crepani, E. O. (2009). Núcleo de Desertificação de Gilbués observado pelo Sensoriamento Remoto e pelo Geoprocessamento. *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, 25-30.
- Dale, V. H. (1997). The relationship between land-use change and climate change. *Ecological applications*, 7(3), 753-769. [doi.org/10.1890/1051-0761\(1997\)007\[0753:TRBLUC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(1997)007[0753:TRBLUC]2.0.CO;2)
- De Oliveira Lopes, L. S., dos Santos, R. W. P., & Miguel Filho, M. A. (2011). Núcleo de desertificação de Gilbués (PI): causas e intervenções. *GEOGRAFIA (Londrina)*, 20(2), 53-66.
- Didham, R. K., Basset, Y., Collins, C. M., Leather, S. R., Littlewood, N. A., Menz, M. H., ... & Hassall, C. (2020). Interpreting insect declines: seven challenges and a way forward. *Insect Conservation and Diversity*, 13(2), 103-114. <https://doi.org/10.1111/icad.12408>

- Donald, P. F. (2004). Biodiversity impacts of some agricultural commodity production systems. *Conservation biology*, 18(1), 17-38. <http://www.jstor.org/stable/3589112>
- Egigu, M. L. (2020). Techniques of Filling Missing Values of Daily and Monthly Rain Fall Data: A Review. *SF J Environ Earth Sci.* 2020; 3 (1), 1036.
- Eshchar, Y., Izar, P., Visalberghi, E., Resende, B., & Fragaszy, D. (2016). When and where to practice: social influences on the development of nut-cracking in bearded capuchins (*Sapajus libidinosus*). *Animal cognition*, 19(3), 605-618. <https://doi.org/10.1007/s10071-016-0965-6>
- Estrada, A. (2013). Socioeconomic contexts of primate conservation: population, poverty, global economic demands, and sustainable land use. *American Journal of Primatology*, 75(1), 30-45. <https://doi.org/10.1002/ajp.22080>
- Estrada, A., Raboy, B. E., & Oliveira, L. C. (2012). Agroecosystems and primate conservation in the tropics: a review. *American journal of primatology*, 74(8), 696-711. <https://doi.org/10.1002/ajp.22033>
- Estrada, A., Garber, P. A., Rylands, A. B., Roos, C., Fernandez-Duque, E., Di Fiore, A., ... & Li, B. (2017). Impending extinction crisis of the world's primates: Why primates matter. *Science advances*, 3(1), e1600946. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1600946>
- Fragaszy, D. M., & Perry, S. (2003). Towards a biology of traditions. *The biology of traditions: models and evidence*, 1-32.
- Fragaszy, D., Izar, P., Visalberghi, E., Ottoni, E. B., & de Oliveira, M. G. (2004). Wild capuchin monkeys (*Cebus libidinosus*) use anvils and stone pounding tools. *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society of Primatologists*, 64(4), 359-366. <https://doi.org/10.1002/ajp.20085>
- Fragaszy, D. M., Biro, D., Eshchar, Y., Humle, T., Izar, P., Resende, B., & Visalberghi, E. (2013). The fourth dimension of tool use: temporally enduring artefacts aid primates learning to use tools. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 368(1630), 20120410. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0410>
- Freitas, C. H. D., Setz, E. Z., Araújo, A. R., & Gobbi, N. (2008). Agricultural crops in the diet of bearded capuchin monkeys, *Cebus libidinosus Spix* (Primates: *Cebidae*), in forest fragments in southeast Brazil. *Revista Brasileira de Zoologia*, 25(1), 32-39. <https://doi.org/10.1590/S0101-81752008000100006>

- Hockings, K. J., McLennan, M. R., Carvalho, S., Ancrenaz, M., Bobe, R., Byrne, R. W., ... & Wilson, M. L. (2015). Apes in the Anthropocene: flexibility and survival. *Trends in Ecology & Evolution*, 30(4), 215-222. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.02.002>
- Hofmann, G. S., Cardoso, M. F., Alves, R. J. V., Weber, E. J., Barbosa, A. A., de Toledo, P. M., ... & de Oliveira, L. F. B. (2021). The Brazilian Cerrado is becoming hotter and drier. *Global Change Biology*. <https://doi.org/10.1111/gcb.15712>
- Huffman, M. A., Nahallage, C. A., & Leca, J. B. (2008). Cultured monkeys: Social learning cast in stones. *Current Directions in Psychological Science*, 17(6), 410-414. <https://doi.org/10.1111%2Fj.1467-8721.2008.00616.x>
- Izar, P. (2016). Análise socioecológica da diversidade social de macacos-prego. Tese de Livre Doença. Universidade de São Paulo.
- Izar, P., Fernández-Bolaños, M., Seex, L., Gort, G., Suscke, P., Tokuda, M., ... & Hemelrijk, C. K. (2021). Female emancipation in a male dominant, sexually dimorphic primate under natural conditions. *Plos one*, 16(4), e0249039.
- Izar, P., & Ferreira, R. G. (2007). Socioecologia de macacos-prego (*Cebus spp.*) selvagens e provisionados: uma análise comparativa. Bicca-Marques (Ed.). *A Primatologia no Brasil*, 10, 323-338.
- Izar, P., Peternelli-dos-Santos, L., Rothman, J. M., Raubenheimer, D., Presotto, A., Gort, G., ... & Fragaszy, D. M. (2022). Stone tools improve diet quality in wild monkeys. *Current Biology*. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2022.07.056>
- Izar, P., Resende, B. D., & Ferreira, R. G. (2018). Proximate causes of tool use in feeding in the genus *Sapajus*. Urbani B, Kowalewski M, Cunha RGT, Torres S, Cortés-Ortriz (eds) *La primatologia en Latinoamérica*, 2, 239-249.
- Izar, P., Verderane, M. P., Peternelli-dos-Santos, L., Mendonça-Furtado, O., Presotto, A., Tokuda, M., ... & Fragaszy, D. (2012). Flexible and conservative features of social systems in tufted capuchin monkeys: comparing the socioecology of *Sapajus libidinosus* and *Sapajus nigritus*. *American Journal of Primatology*, 74(4), 315-331. <https://doi.org/10.1002/ajp.20968>
- Japyassú, H. F., & Malange, J. (2014). Plasticity, stereotypy, intra-individual variability and personality: handle with care. *Behavioural Processes*, 109, 40-47. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2014.09.016>

- Kühl, H. S., Boesch, C., Kulik, L., Haas, F., Arandjelovic, M., Dieguez, P., ... & Ayimisin, E. A. (2019). Human impact erodes chimpanzee behavioral diversity. *Science*, 363(6434), 1453-1455. <https://doi.org/10.1126/science.aau4532>
- Lacombe, G., McCartney, M., & Forkuor, G. (2012). Drying climate in Ghana over the period 1960–2005: evidence from the resampling-based Mann-Kendall test at local and regional levels. *Hydrological Sciences Journal*, 57(8), 1594-1609. <https://doi.org/10.1080/02626667.2012.728291>
- Laiolo, P., & Tella, J. L. (2005). Habitat fragmentation affects culture transmission: patterns of song matching in Dupont's lark. *Journal of Applied Ecology*, 42(6), 1183-1193. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01093.x>
- Lai, Y., & Dzombak, D. A. (2020). Use of the autoregressive integrated moving average (ARIMA) model to forecast near-term regional temperature and precipitation. *Weather and Forecasting*, 35(3), 959-976. <https://doi.org/10.1175/WAF-D-19-0158.1>
- Laland, K. N., Richerson, P. J., & Boyd, R. (1996). Developing a theory of animal social learning.
- Laland, K. N., & Hoppitt, W. (2003). Do animals have culture? *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews: Issues, News, and Reviews*, 12(3), 150-159. <https://doi.org/10.1002/evan.10111>
- Laurance, W. F., Sayer, J., & Cassman, K. G. (2014). Agricultural expansion and its impacts on tropical nature. *Trends in ecology & evolution*, 29(2), 107-116. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.12.001>
- Lee, P. C. (1991). Adaptations to environmental change: an evolutionary perspective. In *Primate responses to environmental change* (pp. 39-56). Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-011-3110-0_2
- Li, Z., & Rogers, E. (2004). Habitat quality and activity budgets of white-headed langurs in Fusui, China. *International Journal of Primatology*, 25(1), 41-54. <https://doi.org/10.1023/B:IJOP.0000014644.36333.94>
- Lins, P. G. A. D. S., & Ferreira, R. G. (2019). Competition during sugarcane crop raiding by blond capuchin monkeys (*Sapajus flavius*). *Primates*, 60(1), 81-91. <https://doi.org/10.1007/s10329-018-0698-z>
- Longhini, L. S., Zena, L. A., Polymeropoulos, E. T., Rocha, A. C., da Silva Leandro, G., Prado, C., ... & Gargaglioni, L. H. (2021). Thermal acclimation to the highest natural ambient temperature

compromises physiological performance in tadpoles of a stream-breeding savanna tree frog. *Frontiers in physiology*, 1742. <https://doi.org/10.3389/fphys.2021.726440>

Lynch Alfaro, J. W., Boubli, J. P., Olson, L. E., Di Fiore, A., Wilson, B., Gutiérrez-Espeleta, G. A., ... & Alfaro, M. E. (2012). Explosive Pleistocene range expansion leads to widespread Amazonian sympatry between robust and gracile capuchin monkeys. *Journal of biogeography*, 39(2), 272-288. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02609.x>

Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A., & Hakeem, K. R. (2016). Effects of pesticides on environment. In *Plant, soil and microbes* (pp. 253-269). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-27455-3_13

McLennan, M. R., Spagnoletti, N., & Hockings, K. J. (2017). The implications of primate behavioral flexibility for sustainable human–primate coexistence in anthropogenic habitats. *International Journal of Primatology*, 38(2), 105-121. <https://doi.org/10.1007/s10764-017-9962-0>

McKinney, T. (2011). The effects of provisioning and crop-raiding on the diet and foraging activities of human-commensal white-faced capuchins (*Cebus capucinus*). *American journal of primatology*, 73(5), 439-448. <https://doi.org/10.1002/ajp.20919>

Mendonça-Furtado, O. D. (2012). Medidas de metabólitos de cortisol em macacos-prego (Gênero *Sapajus*): análise comparativa entre populações para investigação de fatores estressores (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).

Meulman, E. J., Sanz, C. M., Visalberghi, E., & van Schaik, C. P. (2012). The role of terrestriality in promoting primate technology. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews*, 21(2), 58-68. <https://doi.org/10.1002/evan.21304>

Meyer, A. L., & Pie, M. R. (2022). Climate change estimates surpass rates of climatic niche evolution in primates. *International Journal of Primatology*, 43(1), 40-56. <https://doi.org/10.1007/s10764-021-00253-z>

Moreno, T. (2015). Coabitação de primatas: o impacto das atividades humanas em uma região de ecótono Cerrado/Caatinga, onde primatas humanos e não humanos vivem em simpatia. Iniciação científica, Universidade de São Paulo

de A. Moura, A. C., & Lee, P. C. (2004). Capuchin stone tool use in Caatinga dry forest. *Science*, 306(5703), 1909-1909. <https://doi.org/10.1126/science.1102558>

Mourthé, Í. M., Guedes, D., Fidelis, J., Boubli, J. P., Mendes, S. L., & Strier, K. B. (2007). Ground use by northern muriquis (*Brachyteles hypoxanthus*). *American Journal of Primatology: Official*

Journal of the American Society of Primatologists, 69(6), 706-712.
<https://doi.org/10.1002/ajp.20405>

- Negrín, A. R., Fuentes, A. C., Espinosa, D. C., & Dias, P. A. D. (2016). The loss of behavioral diversity as a consequence of anthropogenic habitat disturbance: the social interactions of black howler monkeys. *Primates*, 57(1), 9-15. <https://doi.org/10.1007/s10329-015-0503-1>
- Newbold, T., Oppenheimer, P., Etard, A. et al. (2020). Tropical and Mediterranean biodiversity is disproportionately sensitive to land-use and climate change. *Nat Ecol Evol* 4, 1630–1638. <https://doi.org/10.1038/s41559-020-01303-0>
- Oehlschlager, A. C., Chinchilla, C., Castillo, G., & Gonzalez, L. (2002). Control of red ring disease by mass trapping of *Rhynchophorus palmarum* (Coleoptera: Curculionidae). *Florida Entomologist*, 507-513. <https://www.jstor.org/stable/3496260>
- Ojima, D. S., Galvin, K. A., & Turner, B. L. (1994). The global impact of land-use change. *BioScience*, 44(5), 300-304. <https://doi.org/10.2307/1312379>
- Otoni, E. B., & Izar, P. (2008). Capuchin monkey tool use: overview and implications. *Evolutionary Anthropology: Issues, News, and Reviews: Issues, News, and Reviews*, 17(4), 171-178. <https://doi.org/10.1002/evan.20185>
- Presotto, A., Remillard, C., Spagnoletti, N., Salmi, R., Verderane, M., Stafford, K., ... & Izar, P. (2020). Rare Bearded Capuchin (*Sapajus libidinosus*) Tool-Use Culture is Threatened by Land use Changes in Northeastern Brazil. *International Journal of Primatology*, 41(4), 596-613. <https://doi.org/10.1007/s10764-020-00166-3>
- Pureswaran, D. S., Roques, A., & Battisti, A. (2018). Forest insects and climate change. *Current Forestry Reports*, 4(2), 35-50. <https://doi.org/10.1007/s40725-018-0075-6>
- Ramírez-García, A., Domínguez-Domínguez, O., López-López, E., Moncayo-Estrada, R., & De La Cruz-Agüero, J. (2022). Temporal changes in the fish community structure of a small subtropical spring lake: Decadal and seasonal analysis. *Ecology of Freshwater Fish*.
- de Resende, B. O., Ferreira, V. R. S., Brasil, L. S., Calvão, L. B., Mendes, T. P., de Carvalho, F. G., ... & Juen, L. (2021). Impact of environmental changes on the behavioral diversity of the Odonata (*Insecta*) in the Amazon. *Scientific Reports*, 11(1), 1-12. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88999-7>

- Rezende, E. L., & Bacigalupe, L. D. (2015). Thermoregulation in endotherms: physiological principles and ecological consequences. *Journal of Comparative Physiology B*, 185(7), 709-727. <https://doi.org/10.1007/s00360-015-0909-5>
- Rodrigues, K. C. (2013). Padrão de atividades, comportamento alimentar, exploração de habitat e área de vida de um grupo de *Sapajus flavius* (Schreber, 1774) (Primates, *Cebidae*) em um fragmento de floresta atlântica, Paraíba, Brasil.
- Rodrigues de Carvalho, C., Carneiro, V. A., de Souza, J.C. & de Oliveira Rios, E. (2018). Avaliação das causas de desertificação no município de Gilbués (PI) e suas consequências socioambientais. *GeoPUC – Revista da Pós-Graduação em Geografia da PUC*. Rio de Janeiro, v. 11, n. 21, p. 33 -54
- Rose, P., Roper, A., Banks, S., Giorgio, C., Timms, M., Vaughan, P., ... & O'Brien, M. (2022). Evaluation of the time-activity budgets of captive ducks (*Anatidae*) compared to wild counterparts. *Applied Animal Behaviour Science*, 251, 105626.
- Sabbatini, G., Stammati, M., Tavares, M. C. H., & Visalberghi, E. (2007). Response toward novel stimuli in a group of tufted capuchins (*Cebus libidinosus*) in Brasilia National Park, Brazil. *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society of Primatologists*, 69(4), 457-470. <https://doi.org/10.1002/ajp.20365>
- Salvador, M. D. A., & de Brito, J. I. B. (2018). Trend of annual temperature and frequency of extreme events in the MATOPIBA region of Brazil. *Theoretical and Applied Climatology*, 133(1), 253-261. <https://doi.org/10.1007/s00704-017-2179-5>
- Sánchez-Bayo, F., & Wyckhuys, K. A. (2019). Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological conservation*, 232, 8-27. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- Sangle, P. M., Satpute, S. B., Khan, F. S., & Rode, N. S. (2015). Impact of climate change on insects. *Trends in Biosciences*, 8(14), 3579-3582.
- Santos, L. P. C. D. (2015). Parâmetros nutricionais da dieta de duas populações de macacos-prego: *Sapajus libidinosus* no ecótono cerrado/caatinga e *Sapajus nigritus* na Mata Atlântica (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Scarano, F. R. (2019). Biodiversity sector: risks of temperature increase to biodiversity and ecosystems. In *Climate change risks in Brazil* (pp. 131-141). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-92881-4_5

- van Schaik, C. P. (2002). Fragility of traditions: the disturbance hypothesis for the loss of local traditions in orangutans. *International Journal of Primatology*, 23(3), 527-538. <https://doi.org/10.1023/A:1014965516127>
- Snell-Rood, E. C. (2013). An overview of the evolutionary causes and consequences of behavioural plasticity. *Animal Behaviour*, 85(5), 1004-1011. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2012.12.031>
- Spagnoletti, N., Cardoso, T. C. M., Fragaszy, D., & Izar, P. (2017). Coexistence between humans and capuchins (*Sapajus libidinosus*): Comparing observational data with farmers' perceptions of crop losses. *International Journal of Primatology*, 38(2), 243-262. <https://doi.org/10.1007/s10764-016-9926-9>
- Spagnoletti, N., Visalberghi, E., Verderane, M. P., Ottoni, E., Izar, P., & Fragaszy, D. (2012). Stone tool use in wild bearded capuchin monkeys, *Cebus libidinosus*. Is it a strategy to overcome food scarcity? *Animal Behaviour*, 83(5), 1285-1294. <https://doi.org/10.1007/s10764-016-9926-9>
- Strier, K. B., Henzi, S. P., Barrett, L., Martin, R. D., & Strier, K. B. (2009). Seeing the forest through the seeds: mechanisms of primate behavioral diversity from individuals to populations and beyond. *Current Anthropology*, 50(2), 213-228. <https://doi.org/10.1086/592026>
- Stone, P. A., Snell, H. L., & Snell, H. M. (1994). Behavioral diversity as biological diversity: introduced cats and lava lizard wariness. *Conservation Biology*, 8(2), 569-573. <https://www.jstor.org/stable/2386482>
- Strassburg, B. B., Brooks, T., Feltran-Barbieri, R., Iribarrem, A., Crouzeilles, R., Loyola, R., ... & Balmford, A. (2017). Moment of truth for the Cerrado hotspot. *Nature Ecology & Evolution*, 1(4), 1-3.
- Struhsaker, T. T. (1981). Forest and primate conservation in East Africa. *African Journal of Ecology*, 19(1-2), 99-114. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2028.1981.tb00655.x>
- Suscke, P., & Mauro, P. I. (2014). Socioecologia de *Sapajus xanthosternos* na Reserva Biológica de Una, sul da Bahia.
- Testard, C., Larson, S. M., Watowich, M. M., Kaplinsky, C. H., Bernau, A., Faulder, M., ... & Brent, L. J. (2021). Rhesus macaques build new social connections after a natural disaster. *Current biology*. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2021.03.029>

- Tomasella, J., Vieira, R. M. S. P., Barbosa, A. A., Rodriguez, D. A., de Oliveira Santana, M., & Sestini, M. F. (2018). Desertification trends in the Northeast of Brazil over the period 2000–2016. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 73, 197-206. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2018.06.012>
- Verderane, M. P. (2010). *Socioecologia de macacos-prego (Cebus libidinosus) em área de ecótono cerrado/caatinga* (Doctoral dissertation, Universidade de São Paulo).
- Verderane, M. P., Izar, P., Visalberghi, E., & Fragaszy, D. M. (2013). Socioecology of wild bearded capuchin monkeys (*Sapajus libidinosus*): an analysis of social relationships among female primates that use tools in feeding. *Behaviour*, 150(6), 659-689. <https://doi.org/10.1163/1568539X-00003076>
- Visalberghi, E., Fragaszy, D. M., Izar, P., Ottoni, E. B., Lee, P. C., & Antonio, C. D. A. (2005). Terrestriality and tool use. *Science*, 308(5724), 951-953.
- Visalberghi, E., Sabbatini, G., Spagnoletti, N., Andrade, F. D., Ottoni, E., Izar, P., & Fragaszy, D. (2008). Physical properties of palm fruits processed with tools by wild bearded capuchins (*Cebus libidinosus*). *American Journal of Primatology: Official Journal of the American Society of Primatologists*, 70(9), 884-891. <https://doi.org/10.1002/ajp.20578>
- Whitehead, H., Rendell, L., Osborne, R. W., & Würsig, B. (2004). Culture and conservation of non-humans with reference to whales and dolphins: review and new directions. *Biological Conservation*, 120(3), 427-437. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2004.03.017>
- Whitehead, H. (2010). Conserving and managing animals that learn socially and share cultures. *Learning & Behavior*, 38(3), 329-336. <https://doi.org/10.3758/LB.38.3.329>
- Winter, M., Fiedler, W., Hochachka, W. M., Koehncke, A., Meiri, S., & De la Riva, I. (2016). Patterns and biases in climate change research on amphibians and reptiles: a systematic review. *Royal Society Open Science*, 3(9), 160158. <https://doi.org/10.1098/rsos.160158>