COMO A LIMITAÇÃO DE NUTRIENTES INFLUENCIA DECISÕES DE FORRAGEAMENTO EM ECOSSISTEMAS URBANOS?

Palavras-Chave: ECOLOGIA NUTRICIONAL, ECOLOGIA URBANA, FORMICIDAE

Autores(as):

JOÃO TOLEDO D'ANTONA, IB – UNICAMP

Prof. Dr. RAUL COSTA PEREIRA (orientador), IB - UNICAMP

INTRODUÇÃO:

Entender como os organismos decidem quais recursos utilizar é um desafio duradouro dentro da Ecologia, especialmente quando consideramos consumidores generalistas, que são aqueles capazes de utilizar uma ampla variedade de recursos (Dennis *et al*, 2011). A Teoria do Forrageamento Ótimo prevê que os animais tomam decisões de forrageamento de modo a maximizar sua obtenção de energia (Stephens e Krebs, 1986). Porém, na natureza, consumidores também são limitados por nutrientes, o que os leva a balancear sua dieta para obter a variedade de nutrientes necessária para seu funcionamento (Raubenheimer; Simpson; Mayntz, 2009). De fato, a disponibilidade de nutrientes varia amplamente no tempo e no espaço em virtualmente qualquer ambiente do planeta (Lasmar et al, 2021). Neste contexto, componentes nutricionais inacessíveis ou menos abundantes no ambiente tendem a apresentar maiores taxas de consumo por consumidores generalistas quando disponíveis (Yanoviak e Kaspari, 2000).

Ecossistemas urbanos geram desafios para a manutenção de balanços nutricionais favoráveis. Ao alterar a disponibilidade e a distribuição de recursos, condições e organismos, atividades antrópicas são catalisadoras de processos ecológicos e evolutivos (Palumbi, 2001; Alberti *et al*, 2003). Apesar de ecossistemas urbanos serem comumente vistos como homogêneos, há grande heterogeneidade ambiental dentro de espaços urbanos. Nesse sentido, estudos de ecologia urbana têm cada vez mais buscado entender como a diversidade ambiental dentro de mosaicos urbanos complexos determina a ecologia e a evolução de espécies não humanas. Um aspecto ainda pouco explorado é como a heterogeneidade na disponibilidade de subsídios alimentares antrópicos dentro de cidades molda padrões de biodiversidade de organismos sinantrópicos que dependem de alimentos humanos para obter energia e nutrientes.

Formigas são bons exemplos de consumidores generalistas que desempenham uma série de funções ecossistêmicas importantes, tanto em ambientes naturais quanto com influência antrópica.

Abundantes e com ampla distribuição geográfica, as formigas são um bom sistema de estudo para entender como a limitação de nutrientes molda decisões de forrageamento de consumidores generalistas (Folgarait, 1998). Em florestas tropicais, formigas se comportavam de modo a priorizar a aquisição dos recursos limitantes de seu micro-habitat (Yanoviak e Kaspari, 2000). Formigas arborícolas, com amplo acesso à seiva das árvores, priorizaram iscas ricas em proteínas. Em contraste, formigas do solo priorizaram as iscas ricas em açúcares. Nessa mesma linha de estudo, formigas de seis biomas brasileiros alteraram seus padrões de atividade de forrageamento em relação à sódio, aminoácidos, lipídeos e açúcares frente a mudanças ambientais (Lasmar et al, 2021). Apesar do conhecimento acumulado sobre como formigas selecionam macronutrientes dependendo do ambiente, ainda sabemos pouco sobre como usam recursos em áreas urbanas. Entre 1945 e 2012, há apenas 108 estudos sobre formigas em ambientes urbanos (Santos, 2016), e nenhum deles investigou como a limitação nutricional influencia padrões de forrageamento desses consumidores generalistas.

Nosso objetivo é entender como a heterogeneidade espacial de nutrientes molda o forrageamento de formigas em ecossistemas urbanos. Com base nos padrões observados em comunidades de formigas de florestas tropicais (Yanoviak e Kaspari, 2000), testamos, na cidade de Campinas - SP, a hipótese de que formigas priorizam o consumo de recursos nutricionalmente raros no ambiente em que vivem. Primeiro, com base em uma revisão de literatura dos métodos empregados em estudos de ecologia nutricional de formigas, propomos uma nova abordagem metodológica para otimizar amostragens em ambientes urbanos. Especificamente, testamos se iscas contendo o recurso localmente limitante: (i) seriam encontradas mais rapidamente, (ii) promoveriam maior recrutamento de formigas e (iii) consumidas em maior quantidade.

METODOLOGIA:

Para definir o desenho amostral revisamos metodologias apresentadas em 20 estudos na literatura e propusemos uma abordagem nova para aumentar o rigor metodológico na oferta de iscas. . Com base em artigos como Lasmar et al (2021), Fowler et al (2014) e Tiede et al (2017), utilizamos solução de açúcar refinado [20%] para representar carboidratos, solução de isolado sem sabor de proteína de *whey* Puravida [20%] para proteínas e solução de 1% de sal para representar sódio. Como controle, utilizamos água destilada na concentração de 100%. Seguindo o proposto por Sunamura et al (2023), adicionamos 1% de polímero superabsorvente potássico da marca Hidrosilo a cada isca. Desenvolvemos uma estrutura de plástico em forma de cruz, formada ao colar as bases de quatro criotubos com cola quente (Figura 1a). Antes das amostragens, cada criotubo era preenchido com um tipo de isca, de modo que todas as iscas estivessem presentes em volumes similares. A cruz de plástico era posicionada sobre uma folha de papel com marcações em forma de trapézio, delimitando áreas de interesse. Para as filmagens, utilizamos uma Time Lapse Camera Dscon TL2100 (Figura 1b). Ao longo dos meses de Junho e Julho de 2025, na Cidade de Campinas-SP, realizamos dez amostragens em estabelecimentos de comércio de alimentos, prioritariamente nas áreas externas para

consumo. Todas as amostragens foram realizadas com autorização dos responsáveis pelos estabelecimentos, cujos nomes foram ocultados para garantia do sigilo.

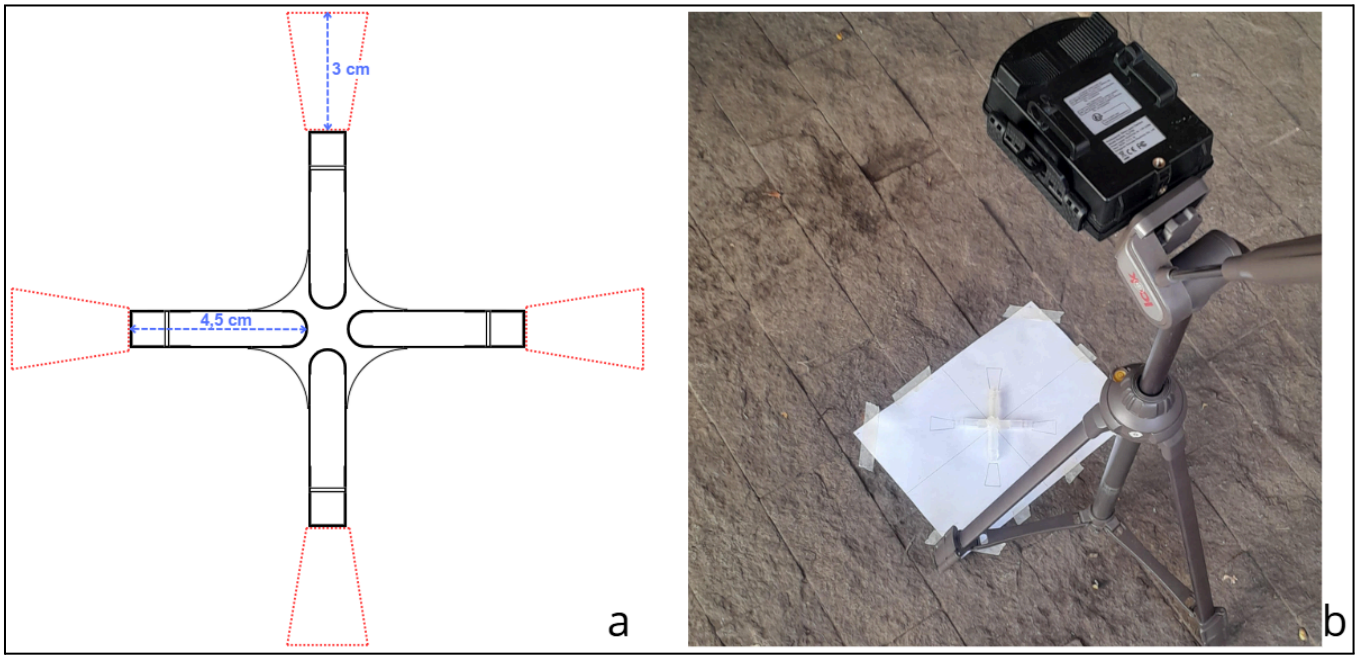

Figura 1. (a) Esquema representando a estação de amostragem (em preto) com áreas de interesse (em vermelho); (b) Imagem da estação de amostragem e câmera *timelapse*.

As estações de amostragem foram posicionadas próximas a regiões com circulação de formigas ou presença de formigueiros. A cada 15 minutos, 30 segundos de vídeo eram capturados pela câmera time lapse. As amostragens foram realizadas em dias sem chuva, e duravam entre 4 e 6 horas. Na análise das gravações, registramos quando formigas entravam nas áreas de interesse ou dentro dos criotubos. Cada vez que uma formiga discernível entrou em uma área, registramos uma ocorrência, incluindo o número da amostragem (associado ao dia e local onde foi realizada a amostragem), o tipo de isca do tubo associado à ocorrência, o tempo que a formiga permaneceu dentro da área de interesse, e se a formiga entrou no tubo ou não. Formigas não discerníveis (seja por excesso de luz ou alta quantidade de formigas próximas) não foram contabilizadas na análise. Além disso, se uma formiga que entrou em uma área de interesse deixou de ser discernível, registramos que essa formiga deixou a área. Quando a massa final de um criotubo era superior à inicial (por conta de poeira e detritos), a diferença de massa foi convertida a zero.

RESULTADOS E DISCUSSÃO:

Para facilitar a interpretação dos resultados, dividimos os estabelecimentos comerciais em duas categorias com base na disponibilidade de recursos: (i) ambientes com predomínio de carboidratos (e.g., sorveterias) e (ii) ambientes com predomínio de proteínas (e.g., Lanchonetes). Contrariando nossa expectativa inicial, em ambos os tipos de ambientes, a isca mais visitada por formigas foi o controle, composto apenas por água (Figura 2a). É importante notar que, em alguns casos, a grande quantidade de formigas presentes dentro dos recipientes de controle atrapalhou a contagem,

provavelmente levando a uma subestimação dos valores de recrutamento. Ainda assim, o consumo médio (i.e., a massa removida de material) no controle foi a menor dentre as iscas. Nos ambientes ricos em carboidratos, a segunda isca mais visitada foi proteínas, porém, esse resultado deve ser interpretado com cautela uma vez que o movimento das formigas até a isca controle pode ter aumentado os valores de recrutamento estimados para proteínas.

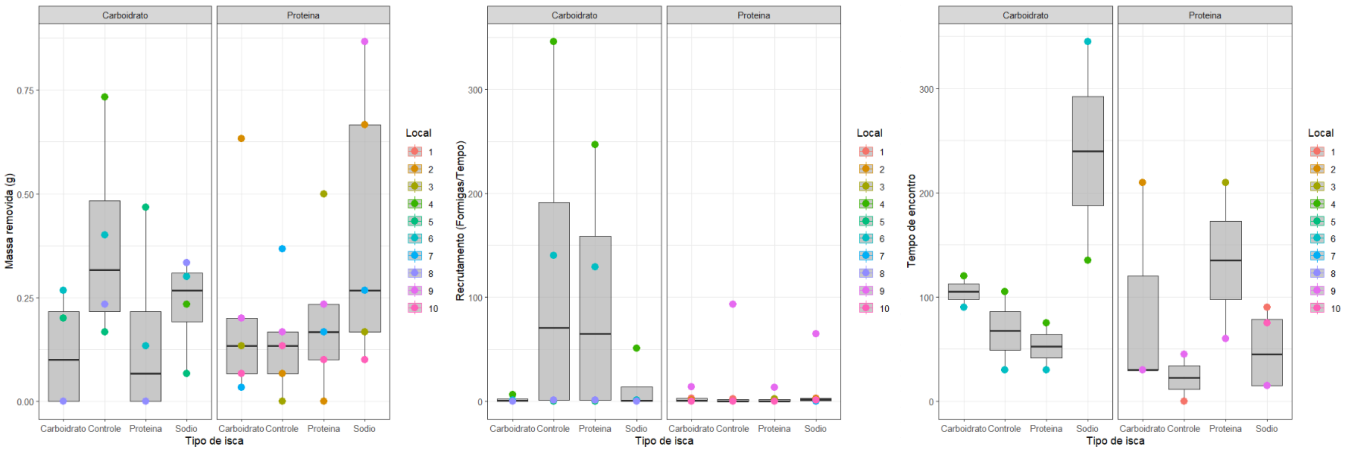

Figura 2. Gráfico informando o consumo da massa em gramas de cada isca (esquerda), o recrutamento de cada isca (centro) e minutos até o contato com cada isca (direita), para cada ponto de amostragem. Fonte: Autoral.

Considerando todos os pontos amostrados dos ambientes ricos em carboidratos, das 337 formigas que passaram pela área de interesse proteica, apenas 6 entraram no criotubo, demonstrando pouco interesse. Em contraste, 402 formigas entraram no tubo controle, de um total de 487. Nos ambientes ricos em proteína e sal, a segunda isca mais visitada foi o sódio, com 71 ocorrências e 38 entradas, contra 95 ocorrências e 64 entradas no controle. Nos dois tipos de estabelecimento, sódio gerou maior recrutamento do que carboidrato, um resultado que contrasta com nossas expectativas iniciais e com os padrões observados em florestas tropicais (Yanoviak e Kaspari 2000).

O alto consumo médio de proteína e sódio é um artefato da menor viscosidade dessas iscas, o que facilitou derramamentos durante a manipulação da estação de amostragem e evaporação. No futuro, é necessário aumentar a quantidade de polímero superabsorvente adicionado a elas. Ainda assim, o controle foi altamente consumido em ambientes ricos em carboidratos. Em média, as formigas de ambientes ricos em carboidratos demoraram mais para encontrar as iscas, sendo que as iscas de carboidrato foram encontradas mais rapidamente (105 minutos). Nos ambientes ricos em proteína, o controle foi encontrado mais rapidamente (22,5 minutos). O encontro mais rápido do controle em comparação com os demais tratamento pode estar associado com a condução das amostragens durante a estação seca, característica marcante do inverno na região sudeste do Brasil. Isso teria reduzido a disponibilidade de água, tornando-a um recurso limitante, enquanto os macronutrientes estão mais disponíveis graças à atividade humana. Nesse contexto, o presente projeto apresenta um novo método para quantificar preferências de forrageamento por formigas urbanas; porém, há algumas ressalvas metodológicas. Os próximos passos do projeto envolvem aperfeiçoar detalhes metodológicos para garantir a medição das variáveis com a maior precisão possível. Por exemplo, em

locais com maior incidência de luz, houve dificuldade para contabilizar o número de formigas devido ao reflexo da luz na arena de amostragem. Além disso, as configurações de fábrica da câmera time lapse utilizada também gerou desafios para análises dos vídeos, uma vez que o dispositivo foi feito para ser utilizado a distâncias maiores e para a observação de animais de grande porte.

CONCLUSÕES:

De modo geral, formigas urbanas apresentaram maior preferência por água do que por macronutrientes. Essa surpreendente preferência pode ser resultado das amostragens terem sido realizadas durante a estação seca, o que sugere a importância de futuros estudos que contemplem o ciclo sazonal regional. Em ambos os tipos de estabelecimento visitados, o recrutamento de formigas para as iscas de carboidrato foi inferior ao sódio, desafiando a generalidade dos padrões observados em florestas tropicais (Yanoviak e Kaspari, 2000) e sugerindo que formigas urbanas podem enfrentar limitação de sal mesmo em ambientes em que a disponibilidade deste elemento seja aparentemente alta.

BIBLIOGRAFIA

ALBERTI, Marina *et al.* Integrating Humans into Ecology: Opportunities and Challenges for Studying Urban Ecosystems. **BioScience**, v. 53, n. 12, p. 1169–1179, 1 dez. 2003.

DENNIS, Roger L. H. *et al.* The generalism-specialism debate: the role of generalists in the life and death of species. **Biological Journal of The Linnean Society**, v. 104, n. 4, p. 725–737, dez. 2011.

FOLGARAIT, PJ. Ant biodiversity and its relationship to ecosystem functioning: a review. **Biodiversity and Conservation**, v. 7, n. 9, p. 1221–1244, set. 1998.

FOWLER, David; LESSARD, Jean-Philippe; SANDERS, Nathan J. Niche filtering rather than partitioning shapes the structure of temperate forest ant communities. **Journal of Animal Ecology**, v. 83, n. 4, p. 943–952, jul. 2014.

LASMAR, Chaim J. *et al.* Geographical variation in ant foraging activity and resource use is driven by climate and net primary productivity. **Journal of Biogeography**, v. 48, n. 6, p. 1448–1459, jun. 2021.

PALUMBI, SR. Evolution - Humans as the world's greatest evolutionary force. **Science**, v. 293, n. 5536, p. 1786–1790, 7 set. 2001.

TIEDE, Yvonne *et al.* Ants as indicators of environmental change and ecosystem processes. **Ecological Indicators**, v. 83, p. 527–537, dez. 2017.

RAUBENHEIMER, David; SIMPSON, Steven J.; MAYNTZ, David. Nutrition, ecology and nutritional ecology: toward an integrated framework. **Functional Ecology**, v. 23, n. 1, p. 4–16, fev. 2009.

STEPHENS, DAVID W.; KREBS, JOHN R. **Foraging Theory**. *[S.l.]*: Princeton University Press, 1986. v. 1

SUNAMURA, Eiriki *et al.* Comparison of Argentine ant Linepithema humile (Hymenoptera: Formicidae) recruitment to hydrogel baits and other food sources. **Applied Entomology and Zoology**, v. 59, n. 1, p. 71–76, fev. 2024.

YANOVIAK, SP; KASPARI, M. Community structure and the habitat templet: ants in the tropical forest canopy and litter. **Oikos**, v. 89, n. 2, p. 259–266, maio 2000.