



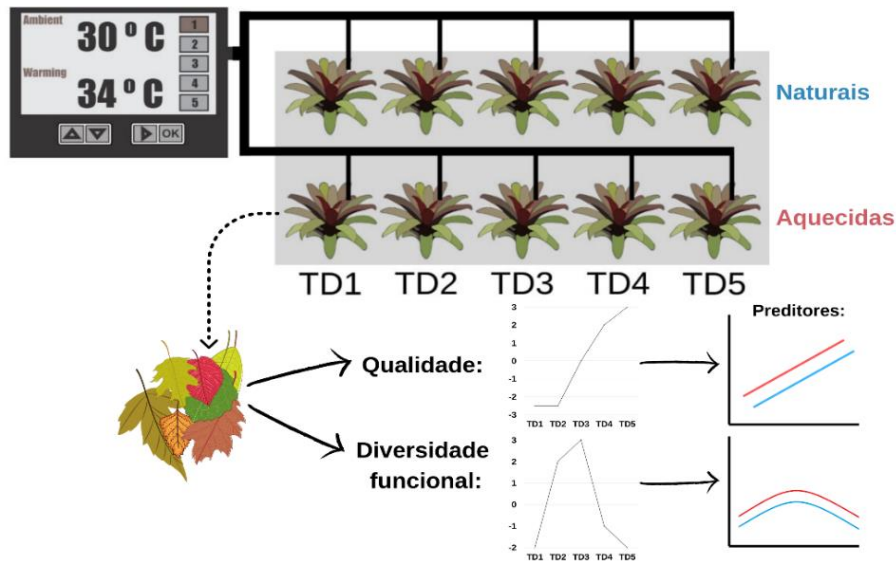
## Impactos da temperatura prevista para o fim do século e alterações nos recursos foliares sobre estrutura de comunidades de insetos aquáticos tropicais

Autor: Izadora Nardi Gonzalez; Orientador responsável: Gustavo Q. Romero; Co-orientador: Gustavo H. Migliorini; Laboratório de interações multitróficas e biodiversidade – UNICAMP

**Introdução:** A temperatura da Terra aumentou  $0.8^{\circ}\text{C}$  durante o último século e, segundo projeções, espera-se um aumento de  $4^{\circ}\text{C}$  até 2100<sup>1</sup>. Estudos demonstraram que o aumento de temperatura impacta direta e indiretamente a multifuncionalidade dos ecossistemas, isto é, a performance simultânea de processos que ocorrem devido a presença de diferentes formas de vida nestes ambientes<sup>2</sup>. Espera-se que ecossistemas aquáticos também sofram com aumento de temperatura, dada as relações físicas entre a água e ar. Mas ecossistemas aquáticos tropicais encontram-se desproporcionalmente em risco. Enquanto representam aproximadamente 1% de toda a superfície terrestre e 0,01% de toda água, abrigam aproximadamente 10% de todas as espécies do planeta<sup>3,4</sup>. Além disso, comunidades aquáticas são basicamente constituídas por organismos ectotérmicos, que são fisiologicamente dependentes da temperatura ambiente<sup>5</sup>. Estudos mostraram que uma das respostas mais consistentes de comunidades ectotérmicas ao aumento de temperatura é sua redução em termos de biomassa<sup>6</sup>. Isso pode ocorrer através de três diferentes formas: (i) manutenção preferencial de espécies menores em relação à espécies maiores seja qual for o mecanismo; (ii) pela redução do tamanho médio da população, e esta, explicada pela (iii) redução do tamanho corporal a nível individual – TSE (temperature-size-rule)<sup>6,7</sup>. Esta regra atesta que organismos ectotérmicos em ambientes mais quentes teriam maior aporte energético para seus processos celulares, o que aceleraria o metabolismo, afetando positivamente seu crescimento e negativamente a maturação, culminando em adultos menores. O tamanho determina traços, metabolismo, comportamento e escolha de presas, o que caracteriza a dinâmica de uma rede trófica. Portanto, é esperado que alterações no tamanho de organismos altere a configuração trófica nestes ecossistemas. Estudos apontam que os impactos esperados são a redução de níveis tróficos e aumento de organismos generalistas, o que afetaria negativamente o funcionamento ecossistêmico<sup>8</sup>. Além dos impactos de temperatura, ecossistemas também sofrem com a perda progressiva de biodiversidade. Em ecossistemas aquáticos é comum a entrada alóctone de recursos, isto é, matéria orgânica que é transportada para estes ecossistemas. Em rios, lagos e fitotelmatas de bromélias, folhas que caem das árvores se acumulam e constituem a principal fonte de energia para organismos residentes, desde bactérias, algas, invertebrados até pequenos vertebrados<sup>9</sup>. Com reduções na composição de espécies vegetais do entorno, espera-se que ocorra também a redução de variedade de folhas que constituem estes detritos orgânicos. Como cada espécie possui um conjunto específico de atributos físico-químicos que se mantém após a queda destas folhas, é esperado que estas alterações afetem a comunidade a qual fornecem energia. Enquanto alguns detritos possuem maior qualidade, isto é, alta concentração de nutrientes, labilidade e palatabilidade, outros possuem maior concentração de lignina, compostos secundários e menor concentração de nutrientes, o que dificulta o consumo destes recursos<sup>10</sup>. Então,

espera-se que alterações na qualidade destes recursos altere o tamanho corporal de seus consumidores. Por outro lado, há estudos que sugerem que a diversidade funcional de atributos de detritos é mais importante para a rede trófica<sup>11,12</sup>. Maior diversidade funcional permitiria que detritívoros utilizem recursos de forma complementar, afetando positivamente seu crescimento e tamanho corporal. Não encontramos estudos que buscaram contrastar qualidade e diversidade funcional em um mesmo experimento aliado ao aumento de temperatura. É fundamental contrastarmos estes fatores a fim de prever como estas comunidades poderão responder às mudanças climáticas e queda abrupta da biodiversidade em curso. Em suma, esta pesquisa busca responder às seguintes perguntas: o que é mais importante para determinar a estrutura de comunidades - qualidade ou diversidade funcional? Qual destes tratamentos tampona o efeito da temperatura sobre o tamanho corporal? Ocorre efeitos indiretos sobre predadores? Quais?

**Métodos:** Para responder estas questões, foram analisados dados provenientes de um experimento realizado em 2015, utilizando bromélias plantadas em área de restinga como ecossistemas modelo na Praia da Fazenda em Ubatuba, São Paulo (23°21'27" S, 44°51'01" W). Bromélias são consideradas excelentes sistemas modelo por serem microcosmos naturais, isto é, reservatórios de água e de detritos foliares graças a suas folhas largas e resistentes. Consequentemente, abrigam uma teia trófica completa, desde organismos decompositores, detritívoros, filtradores até predadores. Além disso, são fáceis de manipular e de replicar, enquanto permitem a coleta de todos os organismos residentes, o que não é possível em lagos e riachos. Para caracterizar os detritos, galhos de 12 espécies de árvores abundantes da região foram coletados para compor a qualidade e diversidade funcional. Após secas, as folhas passaram por análises para quantificar concentrações de C, N, P, taninos, fenóis e lignina. A fim de visualizar diferenças entre os tratamentos das espécies de detritos, conduzimos uma análise de componentes principais (PCA), com a qual foi possível determinar cinco tratamentos de detritos. Selecionamos nossos tratamentos de detritos (daqui em diante, TDs) seguindo um gradiente de qualidade (i.e., recursos variando de baixa para alta qualidade para consumidores) baseado nos atributos que seriam positivos ou negativos para os detritívoros. Para acessar a importância da diversidade funcional de detrito para estruturar comunidades de invertebrados, calculamos a entropia quadrática de Rao's (Rao's Q) para cada tratamento em cada TD seguido por uma PCA, e então retendo os dois primeiros eixos. Para simular o aquecimento global, foi utilizado um sistema de aquecedores submersíveis de 1W, composto por controladores pré-programados, conectados a um display digital para o monitoramento de temperatura (Figura 1). A análise de dados foi conduzida utilizando modelos lineares de efeitos mistos. A significância foi verificada por testes ANOVA mista no ambiente de programação Rstudio.



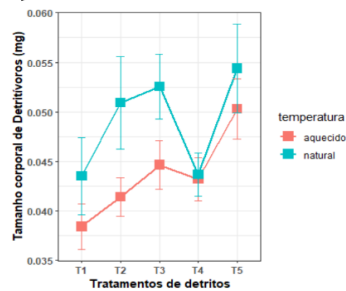
**Figura 1:** Esquemática referente à 1 bloco do total de 5 do desenho experimental. Em cada bromélia aquecida há um sensor e três aquecedores, ambos conectados ao painel de controle. No painel é possível acompanhar e regular a temperatura das bromélias que serão aquecidas a partir das bromélias controle, estas possuem sensores que captam a temperatura ambiente. A temperatura das bromélias aquecidas foi definida para 4°C acima da temperatura ambiente. As siglas “TD” são referentes aos tratamentos de detritos, dispostos conforme sua qualidade aumenta gradualmente e diversidade funcional varia.

**Resultados:** O tamanho corporal de organismos detritívoros mostrou-se significativamente responsivo somente à temperatura ( $p$ -value = 0.049). Apesar disso, podemos visualizar no gráfico (figura 2) que seu tamanho corporal, em ambas temperaturas, segue a curva ascendente da qualidade de detritos, com exceção em TD4. Este comportamento poderia indicar que a qualidade dos detritos é importante para a alocação de recursos, mas não é suficiente para tamponar o efeito negativo da temperatura sobre o tamanho corporal. Por outro lado, a abundância de detritívoros foi afetada significativamente pela temperatura e mudanças nos detritos ( $p$ -value = 0.0397 e 0.0471, respectivamente). Podemos ver que seu pico coincide com os tratamentos de alta diversidade funcional em bromélias aquecidas. Isso pode ser explicado através do consumo de recursos de forma complementar, junto com maior energia disponível. Conforme havíamos previsto, estes efeitos acelerariam a taxa de maturação e reprodução, aumentando o número de indivíduos. Já a curva de biomassa total – standing stock – de detritívoros também foi consistente com nossa previsão. Ou seja, acompanhou e apresentou seu pico conforme o aumento de diversidade funcional ao longo dos tratamentos ( $p$ -value = 0.0149). Insetos filtradores, por sua vez, tiveram seu tamanho corporal afetado pela interação dos efeitos de mudanças nos recursos e aumento de temperatura ( $p$ -value = 0.0001). O standing stock de filtradores foi significativamente afetado pelos recursos ( $p$ -value = 0.0184), enquanto a abundância foi afetada apenas pela temperatura ( $p$ -value = 0.042). As curvas de standing stock e abundância de filtradores possuem semelhanças, como formato, predominância em temperaturas ambientes e pico em TD3, onde há maior diversidade funcional. O que indica que a abundância pode contribuir mais em determinar o standing stock de filtradores do que o tamanho corporal. Filtradores se alimentam de partículas e nutrientes suspensos na água acumulada pelas folhas das bromélias. Este meio recebe pequenas partículas de alimento via decomposição realizada por detritívoros, recebe também compostos orgânicos e CO<sub>2</sub> via microorganismos decompositores. Portanto, a taxa de decomposição mediada por microorganismos pode impactar os níveis tróficos de forma desigual. Seria necessário

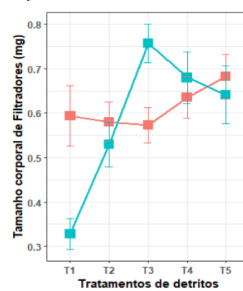
compreender se e qual destes fatores operam com maior intensidade sobre a decomposição de matéria orgânica nestes ecossistemas para maiores conclusões sobre filtradores. Finalmente, o grupo trófico de predadores mostrou que seu tamanho corporal é sensível a interação dos efeitos de mudanças de detritos com o aquecimento (p-value = 0.0002). A partir dos gráficos e análises estatísticas, vemos que o tamanho corporal de predadores em TD3 foi significativamente maior em bromélias aquecidas (p-value = 0.0064). Já onde a qualidade de detritos é maior (TD5), o tamanho corporal em bromélias aquecidas foi significativamente menor (p-value= 0.0059). Este contraste chama atenção para o efeito indireto da diversidade funcional de recursos sobre níveis tróficos superiores, mostrando ser eficiente em tamponar os efeitos negativos da temperatura sobre o tamanho corporal. A interação dos efeitos também afetou a abundância de predadores (p-value = 0.0479), assim como o standing stock (p-value = 0.0305). O tratamento de maior diversidade funcional (TD3) mostrou-se significativo em determinar os picos de abundância (p-value =0.0147) e standing stock (p-value = 0.0338), e em ambos os casos, provenientes de bromélias aquecidas. Ambas abordagens possuem curvas de formatos semelhantes e picos significativos em TD3 nas bromélias aquecidas, como é visível a partir dos gráficos. Ou seja, indica novamente que a abundância aparentemente é o mecanismo que mais contribui para determinar o standing stock destas comunidades.

### 1) Tamanho corporal

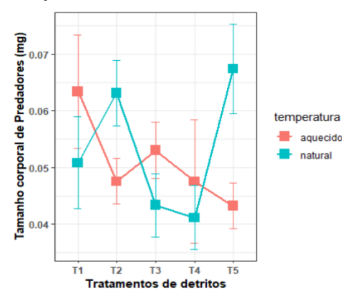
a)



b)

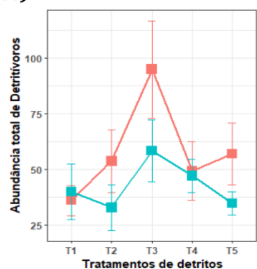


c)

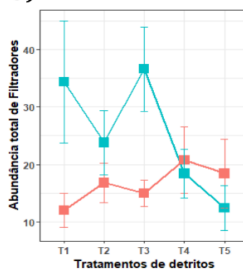


### 2) Abundância

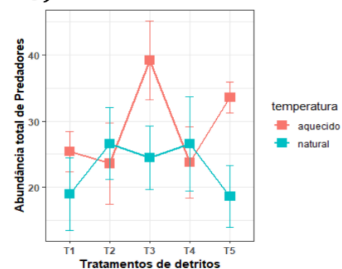
a)



b)

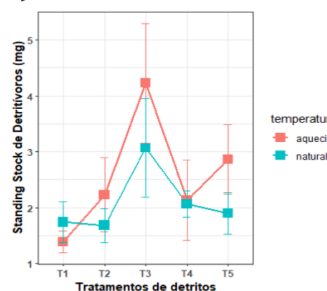


c)

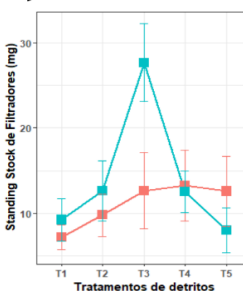


### 3) Standing Stock

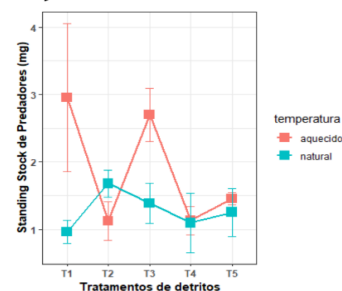
a)



b)



c)



**Figura 2.** Gráficos referentes às respostas de cada grupo trófico aos tratamentos de detritos (eixo x) e temperatura (azul=controle; vermelho=aquecidas), para cada métrica: (1) tamanho corporal, (2) abundância e (3) standing stock. Grupos tróficos: a) detritívoros b) filtradores e c) predadores.

Estas mesmas análises também foram aplicadas para cada grupo taxonômico ao nível de famílias. Os resultados também mostraram que os impactos da temperatura e alteração de recursos disponíveis afetam, a nível taxonômico, a configuração de comunidades. Houve respostas significativas dentro de famílias, e diferentes resposta entre famílias. Este resultado aponta para um impacto na fisiologia de organismos que compõem estes ecossistemas. Posteriores análises serão realizadas para entender aproximadamente como a energia flui através desta rede trófica na presença destes estressores. Buscaremos responder também sobre alterações em pirâmides de biomassa, especificamente, se o tamanho ou abundância de insetos possui maior relevância para compor este aspecto da estrutura de comunidade.

**Discussão:** A partir de medidas de tamanho corporal, abundância e standing stock, este estudo fornece novas evidências que apontam para alterações na estrutura de comunidades aquáticas frente ao aumento de temperaturas e mudanças nos recursos. Também evidenciam a susceptibilidade de grupos tróficos superiores à alteração de recursos, assim como para a vulnerabilidade destes ao aumento de temperatura. Além disso, nossos dados apontam para maior importância da diversidade funcional, e não da qualidade, para os efeitos mitigatórios de processos metabólicos e alocação de recursos de organismos aquáticos. Estes resultados obtidos contribuem para entendermos melhor como estes sistemas complexos poderão responder às perturbações ambientais produzidas pelas mudanças climáticas e queda de biodiversidade. Entender como estes fatores podem interagir e afetar estes sistemas complexos e sensíveis é crucial para que seja possível elaborar previsões e respostas efetivas de conservação e mitigação destes impactos.

#### **Referências:**

1. Allen, S. K. *et al.* Technical Summary. *Clim. Chang. 2013 - Phys. Sci. Basis* 31–116 (2014) doi:10.1017/cbo9781107415324.005.
2. Antikeira, P. A. P., Petchey, O. L. & Romero, G. Q. Warming and top predator loss drive ecosystem multifunctionality. *Ecol. Lett.* 21, 72–82 (2018).
3. Thomson, J. R., Berenguer, E., Lees, A. C. & Hughes, R. M. conservation of tropical aquatic species. 121, 117–121 (2020).
4. Woodward, G., Perkins, D. M. & Brown, L. E. Climate change and freshwater ecosystems: Impacts across multiple levels of organization. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 365, 2093–2106 (2010).
5. Pörtner, H. O. & Farrell, A. P. Ecology: Physiology and climate change. *Science (80-. )*. 322, 690–692 (2008).
6. Daufresne, M., Lengfellner, K. & Sommer, U. Global warming benefits the small in aquatic ecosystems. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 106, 12788–12793 (2009).
7. Woodward, G. *et al.* Body size in ecological networks. 20, (2005).
8. Brose, U. *et al.* Climate change in size-structured ecosystems. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 367, 2903–2912 (2012).
9. Srivastava, D. S. *et al.* Are natural microcosms useful model systems for ecology? *Trends Ecol. Evol.* 19, 379–384 (2004).
10. Gessner, M. O. *et al.* Diversity meets decomposition. *Trends Ecol. Evol.* 25, 372–380 (2010).
11. Díaz, S. & Cabido, M. Vive la différence: Plant functional diversity matters to ecosystem processes. *Trends Ecol. Evol.* 16, 646–655 (2001).
12. Migliorini, G. H., Srivastava, D. S. & Romero, G. Q. Leaf litter traits drive community structure and functioning in a natural aquatic microcosm. *Freshw. Biol.* 63, 341–352 (2018).