



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE MARINGÁ
CENTRO DE CIÊNCIAS BIOLÓGICAS
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ECOLOGIA DE
AMBIENTES AQUÁTICOS CONTINENTAIS

ALLINE FAVRO

**Dinâmica da comunidade de Chironomidae (Diptera) em eventos de
cheias e secas extremas em um rio Neotropical**

Maringá
2021

ALLINE FAVRO

Dinâmica da comunidade de Chironomidae (Diptera) em eventos de cheias e secas extremas em um rio Neotropical

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia.

Área de concentração: Ecologia e Limnologia

Orientador: Prof. Dr. Roger Paulo Mormul

Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Danielle Katharine Petsch

Maringá
2021

"Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)"
(Biblioteca Setorial - UEM. Nupélia, Maringá, PR, Brasil)

F277d Favro, Alline, 1984 -
Dinâmica da comunidade de Chironomidae (Diptera) em eventos de cheias e secas extremas em um rio Neotropical / Alline Favro. -- Maringá, 2021.
26 f. : il. (algumas color.)

Dissertação (mestrado em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais)--
Universidade Estadual de Maringá, Dep. de Biologia, 2021.
Orientador: Prof. Dr. Roger Paulo Mormul.
Coorientadora: Prof.^a Dr.^a Danielle Katharine Petsch.

1. Chironomidae (Diptera: Insecta) - Comunidades, Ecologia de - Pulso de inundação - Mudanças climáticas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. 2. Zoobentos de água doce - Comunidades, Ecologia de - Pulso de inundação - Mudanças climáticas - Planície de inundação - Alto rio Paraná. I. Universidade Estadual de Maringá. Departamento de Biologia. Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais.

CDD 23. ed. – 595.772178209816

ALLINE FAVRO

Dinâmica da comunidade de Chironomidae (Diptera) em eventos de cheias e secas extremas em um rio Neotropical

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ecologia de Ambientes Aquáticos Continentais do Departamento de Biologia, Centro de Ciências Biológicas da Universidade Estadual de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Ecologia e Limnologia e aprovada pela Comissão Julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Dr.^a Cláudia Costa Bonecker /(Presidente)
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Prof. Dr. Flávio Henrique Ragonha
Universidade Cesumar (UniCesumar)

Dr.^a Susicley Jati
Nupélia/Universidade Estadual de Maringá (UEM)

Aprovada em: 23 de março de 2021.

Local de defesa: Realizado em *home office*, via acesso remoto por videoconferência pelo aplicativo Google Meet, no endereço eletrônico meet.google.com/zzq-pyir-gbr, devido a situação do Covid-19.

Dedico minha dissertação aos meus filhos
Vitória e Pedro, nos quais são as maiores
razões da minha vida.

AGRADECIMENTOS

À Deus e a Nossa Senhora Aparecida por me concederem força e coragem para que eu pudesse realizar este sonho.

Aos meus pais Nilza e José Adão pelo amor recebido, incentivo aos estudos, atenção e apoio. Por desde criança, me ensinar o valor do trabalho, da honestidade e a ser uma pessoa grata e temente a Deus.

A minha Irmã Jackelline, que sempre mostrou o quanto é importante nunca desistir.

Ao meu marido que sempre me apoiou com muito amor principalmente nas horas difíceis, no qual, muitas vezes ficou cuidando do nosso pequeno enquanto eu estava escrevendo esta dissertação.

As minhas comadres amadas Nelma e Giseli, e a minha amiga do coração Paty por sempre me incentivarem com mensagens de esperança e força.

A minha amiga Ramona, que hoje se encontra pertinho de Deus, que tanto rezou por mim para eu conseguir passar na seleção do mestrado.

As minhas primas Francielli e Renata que em todos os momentos acreditaram em mim dizendo sempre que sou capaz de realizar os meus sonhos.

Ao meu Orientador Prof. Dr. Roger e minha coorientadora Prof.^a Dr.^a Danielle Katharine Petsch (querida e iluminada Dani), por terem me aceitado como sua orientanda, pelas orientações, correções e ensinamentos, contribuindo para o meu avanço profissional.

A Dr.^a Gisele Daiane Pinha por disponibilizar os dados de Chironomidae.

Aos professores que contribuíram com meu crescimento acadêmico em especial ao Prof. Dr. Sidinei Magela Thomaz.

A galera do laboratório de zoobentos (sempre me ajudou quando precisei, em especial as minhas flores), dos outros laboratórios, aos amigos de sala em particular (aos meus amigos Rejane e João), as meninas das secretarias do PEA e Nupélia, ao pessoal da Biblioteca do Nupélia e também aos motoristas, por toda ajuda e carinho.

Ao Nupélia e a todos que fazem parte da sua história, pela infraestrutura e recursos oferecidos para realização deste trabalho.

A CAPES pela bolsa concedida e pelo financiamento do projeto de pesquisa - Código de Financiamento 001.

Ao CNPq e ao Ministério da Ciência e Tecnologia – MCT por financiar o projeto “Pesquisas Ecológicas de Longa Duração – PELD”, do qual esse trabalho faz parte, além do agradecimento a todos que fazem do PELD.

“É preciso correr riscos”!

Paulo Coelho

Dinâmica da comunidade de Chironomidae (Diptera) em eventos de cheias e secas extremas em um rio Neotropical

RESUMO

As mudanças climáticas podem tornar eventos de secas e cheias extremas mais frequentes, enquanto barramentos de grandes rios podem alterar o regime hidrológico por tornar as secas mais prolongadas e as cheias menos intensas. Em conjunto, ambos fatores podem afetar as comunidades aquáticas. Aqui, a variação dos atributos da comunidade de Chironomidae entre as cheias e secas extremas em um rio de planície de inundação neotropical. Testou-se a hipótese de que os atributos abundância, riqueza, diversidade e variabilidade da comunidade de Chironomidae são reduzidos após eventos extremos. As amostragens ocorreram trimestralmente 2000 a 2012, embora apenas alguns anos foram selecionados para investigar nossas previsões. Selecionou-se 12 períodos de amostragem, que foram divididos em anos que ocorreram fenômenos de El Niño (cheia extrema) e La Niña (seca extrema). No rio Paraná foram determinados três pontos para coleta do material bentônico, em transecto: margem direita, centro e margem esquerda do rio. Registrou-se 75 morfoespécies de Chironomidae. Os táxons mais comuns nos períodos de cheia extrema foram *Djalmabatista* sp 2, *Lopescladius* sp 1 e *Tanytarsus* tipo E. Para os períodos de seca extrema, os táxons mais comuns foram *Polypedilum (Tripodura)* sp 4, *Polypedilum* sp 3 e *Lopescladius* sp 1. A composição e os atributos da comunidade de Chironomidae no rio Paraná variaram entre antes e depois de eventos de cheia e seca extremas. Os atributos, como abundância, riqueza e diversidade de Shannon-Wiener, foram reduzidos após cheias extremas e em contrapartida, tenderam a aumentar após eventos de seca extrema (exceto diversidade de Shannon). Pode-se afirmar que os eventos de cheias e secas avaliados, apesar de extremos, acarretam em diferentes consequências na comunidade de Chironomidae do rio Paraná. Considerando que as condições ambientais e globais que vivenciamos hoje, incluindo mudanças climáticas e barragens, os eventos extremos poderão ser ainda mais frequentes nos ecossistemas aquáticos. Portanto, é fundamental compreendermos as consequências dos eventos de cheia e seca extremas em ecossistemas com elevada biodiversidade e que fornecem relevantes serviços ecossistêmicos como rios de planícies de inundação.

Palavras-chave: El Niño. La Niña. Pulso de inundação. Zoobentos. Rio Paraná. Mudanças climáticas.

Dynamics of the Chironomidae (Diptera) community in events of extreme floods and droughts in a Neotropical River

ABSTRACT

Climate change can make extreme drought and flood events more frequent, while damming large rivers can alter the hydrological regime by making droughts more prolonged and floods less intense. Together, both factors can affect aquatic communities. Here, the variation of Chironomidae community attributes between extreme floods and droughts in a neotropical floodplain river was investigated. The hypothesis that the abundance, richness, diversity and variability attributes of the Chironomidae community are reduced after extreme events was tested. Sampling took place quarterly from 2000 to 2012, although only a few years were selected to investigate our predictions. Twelve sampling periods were selected, which were divided into years in which, El Niño (extreme flood) and La Niña (extreme drought) phenomena occurred. In the Paraná River, three points were determined for the collection of benthic material, in transect: right bank, center and left bank of the river. We recorded 75 morphospecies of Chironomidae. The most common taxa in periods of extreme flooding were *Djalmabatista* sp 2, *Lopescladius* sp 1 and *Tanytarsus* type E. For periods of extreme drought, the most common taxa were *Polypedilum* (Tripodura) sp 4, *Polypedilum* sp 3 and *Lopescladius* sp 1. A composition and attributes of the Chironomidae community in the Paraná River varied between before and after extreme flood and drought events. Attributes such as Shannon-Wiener abundance, richness and diversity were reduced after extreme floods and, in contrast, tended to increase after extreme drought events (except Shannon diversity). Thus, it can be stated that the evaluated flood and drought events, despite being extreme, have different consequences in the Chironomidae community of the Paraná River. Given the environmental and global conditions we experience today, including climate change and dams, extreme events could be even more frequent in aquatic ecosystems. Therefore, it is essential to understand the consequences of extreme flood and drought events on ecosystems with high biodiversity and that provide relevant ecosystem services such as floodplain rivers.

Keywords: El Niño and La Niña. Flood pulse. Zoobenthos. Parana River. Climate changes.

Dissertação elaborada e formatada conforme
as normas da publicação científica *Freshwater
Science*. Disponível em:
<http://www.blackwell-synergy.com/loi/fwb>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	MATERIAL E MÉTODOS.....	14
2.1	Área de estudo.....	14
2.2	Definição dos eventos extremos.....	16
2.3	Amostragem	16
2.4	Análise de dados.....	17
3	RESULTADOS.....	18
4	DISCUSSÃO.....	20
	REFERÊNCIAS.....	22

1 INTRODUÇÃO

Eventos extremos de seca e cheia podem se tornar cada vez mais frequentes em decorrência das mudanças climáticas (IPCC, 2014). Fenômenos como, El Niño e La Niña são difíceis de prever, pois apresentam características como, por exemplo, ocorrerem em intervalos de tempo indeterminados, possuírem ciclos definidos e na maioria das vezes serem eventos de curto prazo (Marengo *et al.*, 2008), também facilitam a ocorrência de eventos climáticos extremos como cheias e secas (Watson *et al.*, 1998, Li *et al.*, 2018). Ecossistemas aquáticos são particularmente vulneráveis a alterações climáticas (Lake, 2011). Estes eventos climáticos alteram o regime hidrológico de grandes rios e, conseqüentemente, afetam as comunidades aquáticas (Pachauri, 2014).

Outro fator que pode alterar o regime hidrológico de grandes rios são os barramentos. A construção de uma barragem é um processo que deve passar por uma refinada avaliação, pois é preciso assegurar os serviços ecossistêmicos e a conservação da biodiversidade aquática (Winemiller *et al.*, 2016). As barragens podem afetar o estado trófico dos ambientes aquáticos, pois podem reter fósforo e matéria orgânica em seus reservatórios, reduzindo a produtividade e elevando a transparência da água à jusante (Roberto *et al.*, 2009). Contudo, ainda podem alterar a variação diária do nível da água e causar decréscimo nas concentrações de sedimento em suspensão (Stevaux *et al.*, 2009). Todos esses efeitos causam modificações na estruturação dos *habitats* aquáticos, nos aspectos funcionais do sistema e no arranjo das comunidades aquáticas, especialmente em planícies de inundação (Agostinho *et al.*, 2004).

A planície de inundação do alto rio Paraná é formada por *habitats* heterogêneos (canais fluviais, canais secundários e lagoas). Seu principal rio é o Paraná que tem cerca de 4.695 quilômetros de extensão. O alto rio Paraná inclui aproximadamente um terço da bacia do rio Paraná. Na planície de inundação do alto rio Paraná, são desenvolvidas pesquisas ecológicas desde 1986, as quais registraram inúmeras espécies considerando zoobentos, vegetação ripária, plantas aquáticas, fitoplâncton, zooplâncton, peixes e outros vertebrados (Agostinho *et al.*, 2000, 2004). Com o fechamento da barragem de Porto Primavera em 1998 desencadeou a necessidade do estabelecimento de um projeto de monitoramento ambiental (Pesquisa Ecológica de Longa Duração - PELD/UEM) para avaliar os impactos nas comunidades biológicas após a implantação da barragem.

Ao longo do monitoramento ambiental na planície de inundação do alto rio Paraná foi possível observar que em alguns anos ocorreram fenômenos climáticos e hidrológicos extremos como cheias e secas. A comunidade bentônica foi uma das comunidades que respondeu a esses eventos extremos que estão intimamente relacionados à ocorrência dos fenômenos climáticos La Niña e El Niño. Esta comunidade sofreu alteração em sua estrutura, como redução na densidade e perda aninhada de espécies de Chironomidae em um período de cheia extrema (Petsch *et al.*, 2015) e homogeneização da comunidade de invertebrados bentônicos em uma lagoa rasa causada por um evento de seca severa (Bertoncin *et al.*, 2019). De fato, com o estudo dos invertebrados bentônicos é possível avaliar os efeitos antrópicos sobre os ecossistemas aquáticos, visto que estes organismos possuem uma mobilidade limitada e sua comunidade possui uma alta capacidade de responder às alterações ambientais (Brandimarte *et al.*, 2004). A presença desses organismos bentônicos pode indicar a qualidade da água e dos sedimentos (Jorcin *et al.*, 2009), bem como características da produtividade no ambiente (Rask, 1998). No entanto, a ausência de certos táxons pode indicar impacto ambiental (Berezina, 2000), e por isso, são organismos de fundamental importância para o monitoramento e detecção do estado de conservação do ecossistema aquático (Ruaro & Gubiani, 2013), incluindo em relação a eventos extremos. Contudo, avaliações na alteração da comunidade bentônica na planície de inundação do alto rio Paraná quanto aos eventos climáticos de seca e cheia extremas ocorreram apenas em lagoas de inundação (Petsch *et al.*, 2015; Bertoncin *et al.*, 2019), mas não em grandes rios.

O principal objetivo desse trabalho é investigar a variação dos atributos (i.e., abundância, riqueza e diversidade de Shannon-Wiener) da comunidade de Chironomidae entre as cheias e secas extremas no rio Paraná, um importante rio neotropical. A hipótese é que os atributos da comunidade de Chironomidae são reduzidos de forma similar após eventos extremos de cheia e seca. Consequentemente espera-se uma redução na riqueza, densidade, diversidade e variabilidade de Chironomidae depois de cheias e secas extremas do que antes desses eventos. Não espera alteração na composição de Chironomidae antes e depois dos eventos extremos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

O rio Paraná ($22^{\circ}45' S$ e $53^{\circ}30' W$) é formado pela união dos rios Grande e Paranaíba que estão localizados no centro-sul do Brasil, e desemboca no La Plata na Argentina. Possui 4.695 quilômetros de comprimento com uma área de drenagem de 2.8106 km^2 . O alto rio Paraná encontra-se no território brasileiro e compreende um terço da bacia do rio Paraná. A área da sua bacia é de aproximadamente 891.000 Km^2 (Agostinho *et al.*, 2004). Com direção geral norte-sul/sudoeste, o alto Paraná corre por regiões de clima tropical-subtropical, com temperaturas médias mensais superiores a $15^{\circ} C$ e precipitações superiores a 1.400 mm/ano (IBGE, 1990).

Vários reservatórios foram construídos no rio Paraná e em seus principais tributários durante as últimas décadas. Na sua parte superior, o rio Paraná está associado com uma vasta planície de inundação, que pode chegar a 20 km de largura nas épocas de cheia. A planície de inundação do alto rio Paraná atualmente se estende por cerca de 230 km entre a barragem de Porto Primavera (São Paulo-Mato Grosso do Sul) e o reservatório de Itaipu (Brasil-Paraguai) (Agostinho *et al.*, 1995), no último trecho do rio Paraná livre de barramentos (Agostinho *et al.*, 2008) (Figura 1).

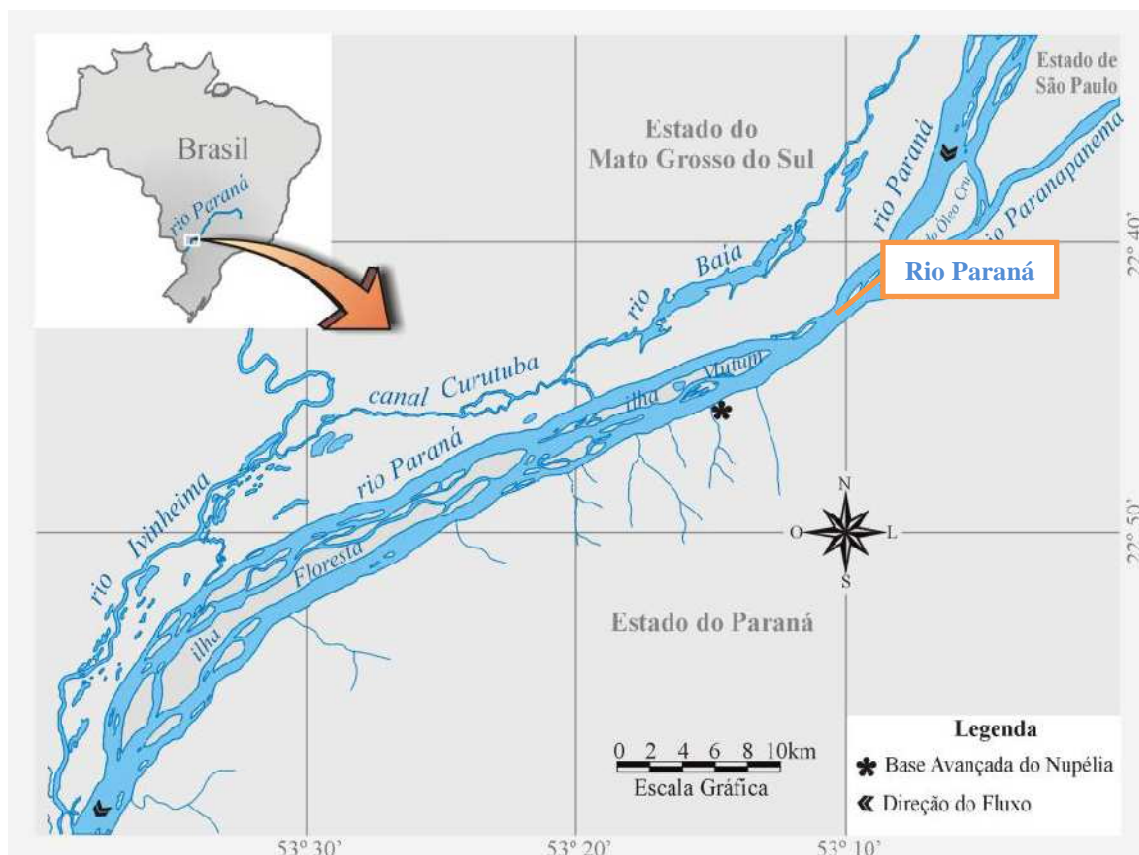


Figura 1. Área de estudo e localização das amostragens no rio Paraná.

2.2 Definição dos eventos extremos

As amostragens da comunidade de Chironomidae foram realizadas no rio Paraná, em pontos previamente estabelecidos no programa PELD/UEM. Os anos selecionados para investigar nossas previsões ocorreram entre 2000 a 2012. Analisou-se o nível fluviométrico do rio Paraná para delimitar os períodos hidrológicos com base nas categorias de nível do rio elaboradas por Moi *et al.* (2020), as quais foram: inundação extrema (nível da água acima de 4,50m) e seca extrema (nível do rio abaixo de 2,61m).

No total, escolheu-se 12 amostragens que foram realizadas no rio Paraná, sendo seis amostragens para cada tipo de evento (i.e., cheia e seca extremas), incluindo três amostras antes e três amostras depois destes eventos (Tabela 1). As datas dos eventos de cheia e seca extremas foram escolhidas mediante os valores do nível da água do rio Paraná. Para o “antes” dos eventos de cheia e seca extremas fez-se a média dos valores do nível da água dos 15 dias anteriores a coleta. Para o “depois” do evento, determinou-se para cheia extrema a maior média dos 15 dias anteriores a coleta, e para seca extrema, selecionamos a menor média dos 15 dias anteriores a coleta. Reconhece-se o baixo n amostral, no entanto, ressalta-se que foram incluídos todos os eventos extremos que ocorreram no conjunto de dados disponível.

Tabela 1 - Datas do antes e depois dos eventos extremos de cheia e seca.

Eventos	Antes	Nível da água	Depois	Nível da água
Cheia extrema	dez/06	2,85	mar/07	5,96
Cheia extrema	dez/09	3,82	mar/10	5,10
Cheia extrema	dez/10	2,97	mar/11	6,29
Seca extrema	fev/01	2,66	mai/01	1,85
Seca extrema	jun/04	2,83	set/04	2,24
Seca extrema	mar/05	2,73	jun/05	2,17

2.3 Amostragem

No rio Paraná, as amostras foram coletadas em três pontos, em transecto: dois na região marginal (margem direita e margem esquerda) e um na região central. Para a amostragem bentônica foi utilizado um pegador de fundo do tipo Petersen modificado (0,0345 m²). Em cada ponto de amostragem as variáveis físico-químicas da água foram

mensuradas concomitantemente às amostragens biológicas (e.g., temperatura, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido, pH e turbidez). Todo material coletado com pegador para a análise biológica foi levado para a base avançada do Nupélia, onde se realizou a lavagem do material em uma série de peneiras de malhas: 2,0 mm; 1,0 mm e 0,2 mm. Os invertebrados retidos nas duas primeiras malhas foram retirados e imediatamente fixados em álcool 70% e todo sedimento retido na última peneira foi fixado com álcool 80%. No laboratório de Zoobentos (Nupélia/UEM), o material foi triado sob microscópio estereoscópico. As larvas de Chironomidae foram dissecadas e montadas em lâminas usando a solução de Hoyer. Em seguida, as larvas foram identificadas ao menor nível taxonômico possível (i.e., morfoespécie) utilizando as chaves Trivinho-Strixino e Strixino (1995) e Epler (2001).

2.4 Análise de dados

Verificou-se diferenças na estrutura da comunidade de Chironomidae (abundância, riqueza, diversidade Shannon-Wiener e composição) entre os períodos de cheias e secas extremas do rio Paraná. Para isso, calculou-se a diferença dos atributos de densidade, riqueza e diversidade de Shannon-Wiener através da subtração dos valores posterior com relação ao anterior aos eventos extremos. Utilizou-se teste *t* para investigar se essas diferenças na densidade, riqueza e diversidade de Shannon-Wiener (variáveis resposta) variaram entre os eventos extremos (tipo de evento como variável preditora).

Utilizou-se também uma Análise de Dispersão Multivariada (PERMDISP) e Análise de Variância Multivariada Permutacional (PERMANOVA) bifatorial (fatores são diferença entre antes e depois do evento; tipo de evento extremo) a partir dos dados de presença/ausência (dissimilaridade de Sørensen) e abundância logaritmizada (dissimilaridade de Bray-Curtis) de Chironomidae. Realizou-se a partição da diversidade beta (Baselga, 2012) e apenas o componente turnover de Sørensen e Bray-Curtis para representar a substituição de espécies, assim minimizando o efeito da diferença de riqueza (Petsch *et al.*, 2017). Com a PERMDISP pode-se avaliar se a variabilidade da comunidade de Chironomidae no rio Paraná é diferente entre antes e depois de eventos extremos. O teste *t* investigou-se a diferença de variabilidade entre antes e depois do evento é similar entre cheias e secas extremas. Por fim, com a PERMANOVA para analisar se a composição de Chironomidae é diferente entre antes e depois de cheias e secas extremas. Todas as análises estatísticas foram executadas no software R (R Core Team, 2019), com o

auxílio do pacote “vegan” (Oksanen *et al.*,2019).

3 RESULTADOS

A diversidade total de Chironomidae foi representada por 75 morfoespécies. Os táxons mais comuns nos períodos de cheia extrema foram *Djalmabatista* sp 2, *Lopescladius* sp 1 e *Tanytarsus* tipo E. Para os períodos de seca extrema os táxons mais comuns foram *Polypedilum (Tripodura)* sp 4, *Polypedilum* sp 3 e *Lopescladius* sp 1.

Observou-se que a abundância, riqueza e diversidade de Shannon-Wiener de Chironomidae foram reduzidas apenas após eventos de cheia extrema (Figura 2). Após eventos de seca extrema, ao contrário do que esperado, tanto a riqueza quanto a abundância tenderam a aumentar (Fig. 2A, B). Enquanto a abundância ($t_{(1,2)} = -4,127$; $P = 0,029$; Fig. 2A) e riqueza ($t_{(1,2)} = -2,463$; $P = 0,084$; Fig. 2B) de Chironomidae foram maiores após eventos de cheia extrema do que de seca extrema, observou-se que a diferença da diversidade de Shannon-Wiener de Chironomidae foi semelhante entre os tipos de eventos extremos ($t_{(1,2)} = -1,019$; $P = 0,373$; Fig. 2C).

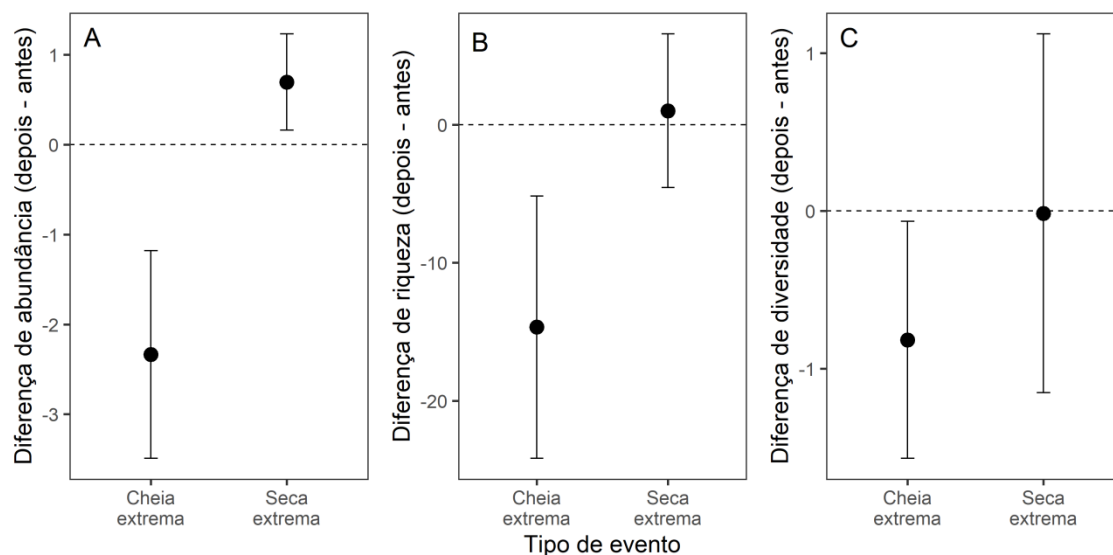


Figura 2. Média e desvio padrão da diferença (depois – antes do evento extremo) dos atributos da comunidade de larvas de Chironomidae no rio Paraná na planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil. A) Abundância, B) Riqueza e C) Diversidade de Shannon-Wiener. Valores sobrepondo a linha tracejada indicam ausência de diferença significativa.

Observou-se que a distância média ao centróide (i.e., variabilidade ou diversidade beta) das coletas realizadas depois da cheia extrema foram menores que as distância média ao centróide das coletas realizadas antes da cheia extrema, tanto usando o componente turnover de Bray-Curtis (Figura 3A) quanto de Sørensen (Figura 3B). No entanto, observou-se a tendência oposta para os eventos de seca extrema (i.e., maior variabilidade antes que depois do evento extremo). A diferença de turnover entre antes e depois do evento extremo foi semelhante entre cheia e seca usando Bray-Curtis ($t_{(1,2)} = 1,985$; $P = 0,136$; Fig. 3A) e Sørensen ($t_{(1,2)} = 2,291$; $P = 0,114$; Fig. 3B).

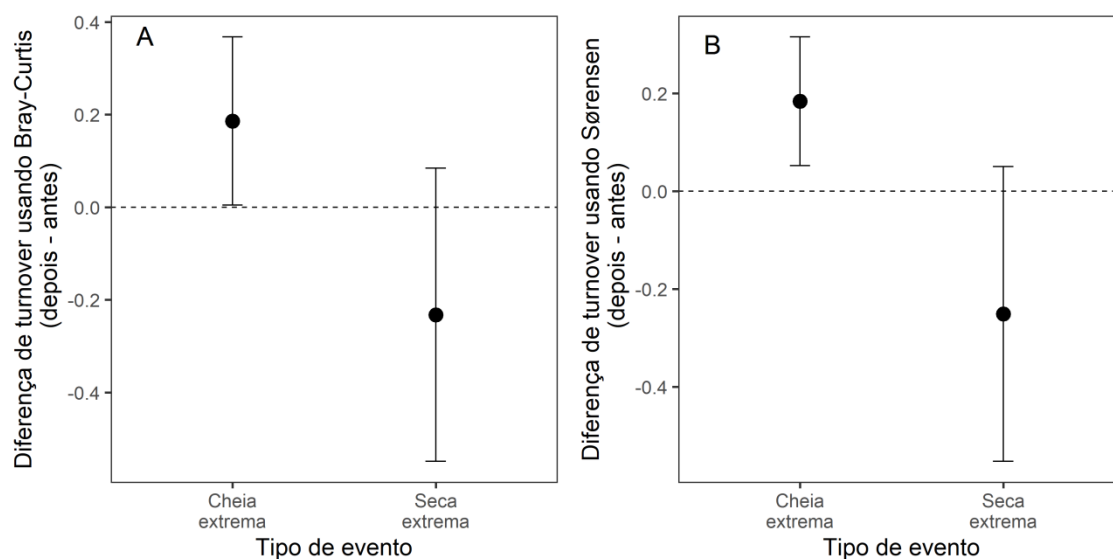


Figura 3. Média e desvio padrão da diferença (depois – antes do evento extremo) de turnover das larvas de Chironomidae no rio Paraná na planície de inundação do alto rio Paraná, Brasil. A) Diferença de turnover usando Bray-Curtis, B) Diferença de turnover usando Sørensen. Valores sobrepondo a linha tracejada indicam ausência de diferença significativa.

Por fim, observou-se que a composição de Chironomidae foi semelhante entre os tipos de evento e entre antes e depois do mesmo evento extremo, tanto usando a dissimilaridade de Sørensen como a de Bray-Curtis (Tabela 2; Figura 4).

Tabela 2 - PERMANOVA dos dados de Chironomidade do rio Paraná obtido através da matriz de dissimilaridade de Sørensen e Bray-Curtis demonstrando a abundância indivíduos.

	Grau de liberdade	Soma dos quadrados	Média dos quadrados	Pseudo F	R ²	P
Diferença entre antes e depois do evento	1	0,206	0,206	1,03	0,094	0,44
Tipo evento	1	0,093	0,093	0,466	0,043	0,754
Interação	1	0,272	0,272	1,361	0,125	0,325

Resíduos	8	1,603	0,2	0,736		
Total	11	2,176		1		
Bray Curtis						
Diferença entre antes e depois do evento	1	0,245	0,245	1,19	0,106	0,402
Tipo evento	1	0,05	0,05	0,244	0,021	0,863
Interação	1	0,357	0,357	1,732	0,155	0,184
Resíduos	8	1,651	0,206	0,716		
Total	11	2,305		1		

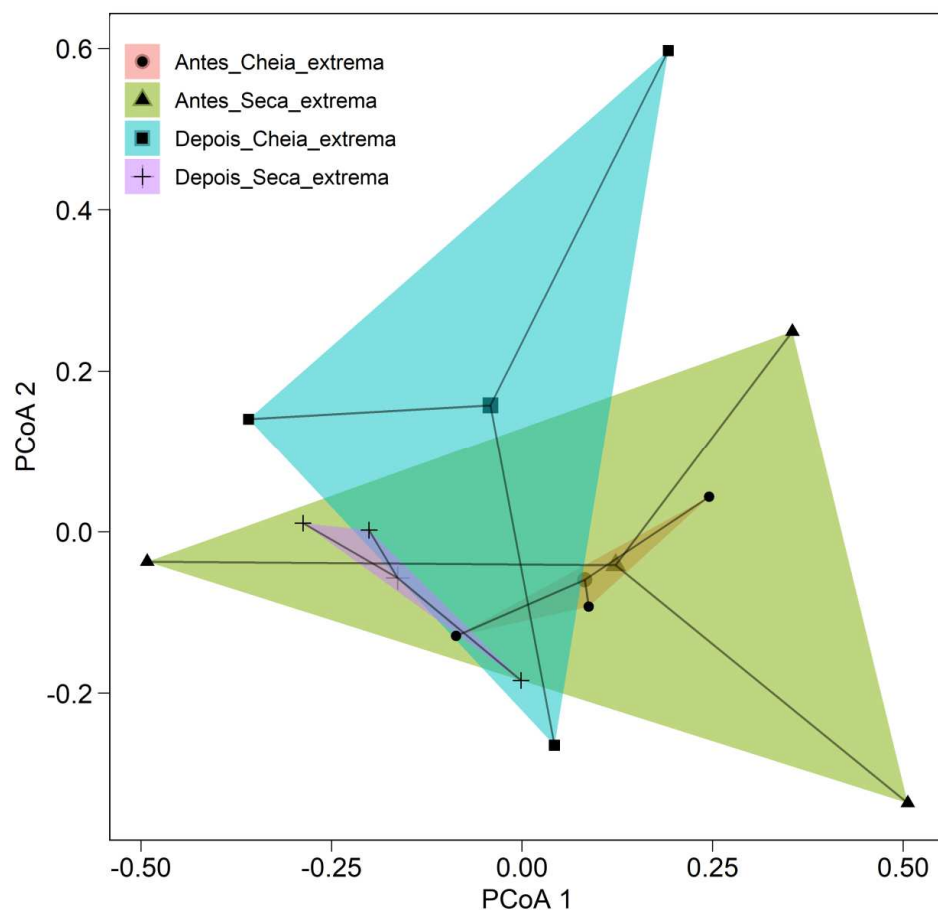


Figura 4. Análise de coordenadas principais (PCoA) utilizando o componente turnover da dissimilaridade de Sørensen demonstrando a composição de Chironomidae antes e depois dos eventos de cheia e seca extremos.

4 DISCUSSÃO

Os resultados mostraram que a composição e os atributos da comunidade de Chironomidae no rio Paraná variaram entre antes e depois de eventos de cheia e seca extremas. Mais especificamente, observou-se que houve menor riqueza, abundância e diversidade de Shannon-Wiener somente após cheias extremas, mas sem diferença na

variabilidade (exceto que foi maior depois que antes de cheias extremas) e composição de Chironomidae antes e depois dos eventos extremos.

A redução na abundância, riqueza e diversidade de Chironomidae após eventos de cheias extremas pode ser relacionada ao fato de que as inundações extremas tendem a reduzir os níveis de oxigênio devido ao acréscimo de matéria orgânica (Anjos *et al.*, 2011). Nestas condições somente as larvas de Chironomidae mais resistentes podem sobreviver (Petsch *et al.*, 2015). Outra explicação seria que os períodos de cheias provocam erosões no sedimento do rio (Stevaux, 1994), o que levou possivelmente ao carreamento das larvas Chironomidae que estavam aderidas ao sedimento.

Em relação à seca extrema, estes eventos tendem a se tornar mais frequentes com processo de barramento (Moi *et al.*, 2020), acarretando a perda de água que contribui para diminuição do nível fluviométrico, qualidade do *habitat* e número de espécies (Lake, 2003). No trabalho, nota-se uma tendência de aumento da abundância e riqueza de Chironomidae no rio Paraná depois dos eventos de secas extremas. Após eventos de secas extremas há uma rápida recuperação das comunidades de Chironomidae comparadas a cheias extremas. Isso deve ser ao fato que depois destes eventos, o nível da água começa a subir aumentando a quantidade de alimento o que possivelmente favorece a colonização de invertebrados, como por exemplo, larvas de Chironomidae (Ledger *et al.*, 2013). Por fim, é importante notar que secas extremas devem ser mais severas em ambientes naturalmente rasos como lagoas (e.g. Bertoincin *et al.*, 2019) do que em ambientes com muito volume de água, como o rio Paraná, devendo ser ao fato de que as lagoas podem sofrer uma maior contração de margens do que os rios.

A maior variabilidade da comunidade de Chironomidae ocorreu entre os meses após cheias extremas. Esse resultado é provavelmente ao fato que a colonização por invertebrados aumenta com o nível do rio, devido a fatores como o aumento do material alóctone que é utilizado como alimento. O aumento da heterogeneidade ambiental que favorece a produção de micro-habitats (Agostinho *et al.*, 2009), expandindo assim a comunidade através da ocupação dos *habitats* por várias espécies (Sarremejane *et al.*, 2018). Com o aumento do nível do rio pode favorecer uma maior estocasticidade na história de colonização das larvas de Chironomidae (Junk *et al.*, 1989 e Thomaz *et al.*, 1992), o que pode gerar maior diversidade beta ao longo do tempo (Petsch *et al.*, 2021).

A composição da comunidade de Chironomidae não variou entre os períodos de cheia e de seca extremas e nem antes e depois dos eventos. No caso de cheias extremas, algumas espécies são perdidas após a cheia, mas a composição em si não muda formando um padrão aninhado (Petsch *et al.*, 2015). No caso de seca extrema, pode ocorrer a homogeneização da comunidade bentônica (Bertoncin *et al.*, 2019), observada, no entanto, em uma lagoa da planície de inundação do alto rio Paraná.

Estudos teóricos e modelagem indicam que o aquecimento global intensifica o ciclo da água, causando aumento de precipitação e eventos como cheia e secas extremas (Trenberth *et al.*, 2007). Segundo Antico *et al.*, (2014), em seu estudo sobre a bacia do rio Paraná, o efeito do aquecimento global sobre esta bacia tende a aumentar a vazão e a temperatura média global da superfície, conseqüentemente, levará a um aumento da evaporação e precipitação. Dessa forma, espera-se ao longo dos anos um maior número de cheias na bacia do rio Paraná reduzindo assim, cada vez mais os atributos da comunidade de Chironomidae.

Nesta pesquisa, identificou-se que os atributos da comunidade de Chironomidae, como abundância, riqueza e diversidade Shannon-Wiener, foram reduzidos após cheias extremas e em contrapartida, tenderam a aumentar após eventos de seca extrema (exceto diversidade de Shannon-Wiener). Com isso, pode-se afirmar que os eventos de cheias e secas avaliados, apesar de extremos, acarretam em diferentes conseqüências na comunidade de Chironomidae do rio Paraná. Considerando que as condições ambientais e globais vivenciadas na última década, as quais incluem mudanças climáticas, construção de barragens e aumento na frequência de eventos climáticos extremos, torna-se fundamental compreender melhor quais são os efeitos dessas condições em ecossistemas com elevada biodiversidade e que fornecem relevantes serviços ecossistêmicos como rios de planície de inundação.

REFERÊNCIAS

Anjos, A. F., Takeda, A. M., & Pinha, G. D. (2011). Distribuição espacial e temporal das larvas de Chironomidae em diferentes ambientes do complexo-rio Baía, Estado do Mato Grosso do Sul, Brasil. , *Acta Scientiarum Biological Sciences* 33(4), 417-426.

Agostinho, A. A, Vazzoler A. E. A, Thomaz S.M. (1995). The high Paraná River basin: limnological and ichthyological aspects. In: Tundisi, J.G.; Bicudo, C.E.M.; Matsumura-

Tundisi, T. Limnology in Brazil. Brazilian Academy of Science/Brazilian Limnological Society, Rio de Janeiro: 59-104.

Agostinho, A. A, Thomaz, S. M., Minte-Vera, C. V., & Winemiller, K. O. (2000). Biodiversity in the high Paraná River floodplain. In 'Biodiversity in Wetlands: Assessment, Function and Conservation'(Eds B. Gopal, WJ Junk, and JA Davis.) pp. 89–118.

Agostinho, A. A, Thomaz S.M & Gomes L.C. (2004). Threats for biodiversity in the floodplain of the Upper Paraná River: effects of hydrological regulation by dams. *International Journal of Ecohydrology & Hydrobiology* 4.3: 267-280.

Agostinho, A. A, Pelicice F. M, Gomes LC. (2008). Dams and the fish fauna of the Neotropical region: impacts and management related to diversity and fisheries. *Brazilian Journal of Biology* 68. 4:1119-1132.

Agostinho, A. A, Bonecker, C. C., & Gomes, L. C. (2009). Effects of water quantity on connectivity: the case of the upper Paraná River floodplain. *Ecohydrology & Hydrobiology*, 9(1), 99-113.

Antico, A., Schlotthauer, G., & Torres, M. E. (2014). Analysis of hydroclimatic variability and trends using a novel empirical mode decomposition: application to the Paraná River Basin. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 119(3), 1218-1233.

Baselga, A., & Orme, C. D. L. (2012). betapart: an R package for the study of beta diversity. *Methods in ecology and evolution*, 3(5), 808-812.

Berezina, N. A. (2000). Water quality estimation in the Kotorosl'River Basin based on zoobenthos composition. *Water Resources* 27.6: 654-662.

Bertoncin, A. P. S., Pinha, G. D., Baumgartner, M. T., & Mormul, R. P. (2019). Extreme drought events can promote homogenization of benthic macroinvertebrate assemblages in a floodplain pond in Brazil. *Hydrobiologia*, 826(1), 379-393.

Brandimarte, A. L, Shimizu Y, Anaya M & Kuhlmann M. L. (2004). Amostragem de Invertebrados Bentônicos in Bicudo CEM, Bicudo DM Amostragem em Limnologia- São Carlos: RiMa, 2 ed.

Epler, J. H. (2001). Identification manual for the larval Chironomidae (Diptera) of North and South Carolina. Palatka: Department of Environmental and Natural Resources,

Division of Water quality, Raleigh and St. Johns River Water Management District. Special Publication S J 2001-SP13.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1990. Geografia do Brasil. Rio de Janeiro. Região Sul, vol. 2.

IPCC (2014). Climate change 2014: Synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri RK and Meyer LA (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp

Jorcin, A. M, Nogueira G & Belmont R. (2009). Spatial and temporal distribution of the zoobenthos community during the filling up period of Porto Primavera Reservoir (Paraná River, Brazil). *Brazilian Journal of Biology* 69.1: 19-29.

Junk, W. J., Bayley, P. B., & Sparks, R. E. (1989). The flood pulse concept in river-floodplain systems. *Canadian special publication of fisheries and aquatic sciences*, 106(1), 110-127.

Lake, P. S., (2003). Ecological effects of perturbation by drought in flowing waters. *Freshwater Biology* 48: 1161–1172.

Ledger. M. E., L. E. Brown, F. K. Edwards, L. N. Hudson, A. M. Milner & G. Woodward, (2013). Extreme climatic events alter aquatic food webs: a synthesis of evidence from a mesocosm drought experiment. In Woodward, G. & E. J. O’Gorman (eds), *Advances in Ecological Research: Global change in Multispecies Systems*. Elsevier Academic Press Inc., Londres: 343–395

Li, Z, Yang S, Hu X, Dong W, He B (2018). Change in long-lasting El Niño events by convection-induced wind anomalies over the Western Pacific in boreal spring. *J Climate* 31:3755–3763

Moi, D. A., Ernandes-Silva, J., Baumgartner, M. T., & Mormul, R. P. (2020). The effects of river-level oscillations on the macroinvertebrate community in a river–floodplain system. *Limnology*, 21(2), 219-232.

Marengo, J. A, Nobre, C.A, Tomasella J (2008). The drought of Amazonia in 2005. *B Am Meteorol Soc* 21:495–516

Oksanen, J., Blanchet, F. G., Kindt, R., Legendre, P., Minchin, P. R., O'Hara, R. B., ... & Stevens, H. M. H. & Wagner H. (2019). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 2.5-6.

Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R., Broome, J., Cramer, W., Christ, R., ... & Ypserle, J. P. (2014). *Climate change 2014: synthesis report. Contribution of Working Groups I, II and III to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (p. 151). Ipcc.

Petsch, D. K., Pinha, G. D., Dias, J.D & Takeda, A. M. (2015). Temporal nestedness in Chironomidae and the importance of environmental and spatial factors in species rarity. *Hydrobiologia* 745: 181–193.

Petsch, D. K., Schneck, F., & Melo, A. S. (2017). Substratum simplification reduces beta diversity of stream algal communities. *Freshwater Biology*, 62(1), 205-213.

Petsch, D. K., Cottenie, K., Padial, A. A., Dias, J. D., Bonecker, C. C., Thomaz, S. M., & Melo, A. S. (2021). Floods homogenize aquatic communities across time but not across space in a Neotropical floodplain. *Aquatic Sciences*, 83(1), 1-11.

R Core Team. (2019). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna. URL <http://www.R-project.org>.

Rask, M., Nyberg, K. Markkanen, S. L. & Ojala, A. (1998). Forestry in catchments: effects on water quality, plankton, zoobenthos and fish in small lakes. *Boreal environment research*, 3(1), 75-86.

Roberto, M. C, Santana N. F, & Thomaz S.M. (2009). Limnology in the Upper Paraná River floodplain: large-scale spatial and temporal patterns, and the influence of reservoirs. *Brazilian Journal of Biology* 69.2: 717-725.

Ruaro, R. & Gubiani, É. A. (2013). A scientometric assessment of 30 years of the Index of Biotic Integrity in aquatic ecosystems: applications and main flaws. *Ecological Indicators*, 29, 105-110.

Sarremejane, R., Mykrä, H., Huttunen, K. L., Mustonen, K. R., Marttila, H., Paavola, R., ... & Muotka, T. (2018). Climate driven hydrological variability determines inter-annual changes in stream invertebrate community assembly. *Oikos*, 127(11), 1586-1595.

Stevaux, J. (1994). The upper Paraná River (Brazil): geomorphology, sedimentology and paleoclimatology. *Quaternary International*, 21, 143-161.

Stevaux, J C, Martins DP, and Meurer M. (2009). Changes in a large regulated tropical river: The Paraná River downstream from the Porto Primavera Dam, Brazil. *Geomorphology* 113.3-4: 230-238.

Trenberth, K. E., Smith, L., Qian, T., Dai, A., & Fasullo, J. (2007). Estimates of the global water budget and its annual cycle using observational and model data. *Journal of Hydrometeorology*, 8(4), 758-769.

Thomaz, S. M., LansacTôha, F. A., Roberto, M. C., Esteves, F. A., & Lima, A. F. (1992). Seasonal variation of some limnological factors of lagoa do Guarana: a varzea lake of the High Rio Parana, state of Mato Grosso do Sul, Brazil. *Revue d'Hydrobiologietropicale*, 25(4), 269-276.

Trivinho-Strixino, S., & Strixino, G. (1995). Larvas de Chironomidae (Díptera) do Estado de São Paulo. Guia de identificação e diagnóstico dos gêneros. São Carlos: PPG-EREN/UFSCAR. <http://www.naturezaonline.com.br>.

Watson, R. T., Zinyowera, M. C., Moss, R. H., & Dokken, D. J. (1998). The regional impacts of climate change. *IPCC*, Geneva.

Winemiller, K. O., McIntyre, P. B., Castello, L., Fluet-Chouinard, E., Giarrizzo, T., Nam, S., ... & Sáenz, L. (2016). Balancing hydropower and biodiversity in the Amazon, Congo, and Mekong. *Science*, 351(6269), 128-129.